

nešto manja. U većim su koncentracijama otrovni i amonijak (NH_3) i halogenovodici. Sretna je okolnost da se prisutnost mnogih od navedenih hidrida može utvrditi mirisom i u vrlo malim koncentracijama.

Važna su tri načina pripreve kovalentnih molekulnih hidrida:

a) djelovanjem kiseline na soli koje se odvođe od odgovarajućeg hidrida, pri čemu mogu nastati i viši hidridi. Tako djelovanjem kiseline na magnezijev silicid, osim monosilana (SiH_4), nastaju i viši silani koji se nakon ukapljivanja odvajaju frakcijskom destilacijom;

b) redukcijom halogenida ili kojeg drugog prikladnog spoja pomoću litijeva hidrida, litijeva aluminijeva hidrida, natrijeva borog hidrida ili nascentnog vodik;

c) izravnom sintezom kojom se može pripraviti malen broj stabilnih hidrida kao što su npr. amonijak, voda, klorovodik i bromovodik.

Kovalentni polimerni hidridi tipa MH_2 mogu nastati od bora, berilija, aluminija, cinka, kadmija i žive, a tip MH nastaje od silicija, germanija, fosfora i arsena. Ti su hidridi najmanje istražena skupina hidrida. Najpoznatiji su hidridi bora zbog sposobnosti adicije na dvostruku vezu (v. *Bor*, TE2, str. 110).

LIT.: J. C. Bailar (Ed.), *Comprehensive Inorganic Chemistry*. Pergamon Press, Oxford 1975. – P. Häussinger, R. Lohmüller, H.-J. Wernicke, Vodik, u djelu: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, Band 24. Verlag Chemie, Weinheim 1983. – N. N. Greenwood, A. Earnshaw, *Chemistry of the Elements*. Pergamon Press, Oxford 1984. – I. Filipović, S. Lipanović, Opća i anorganska kemija. Školska knjiga, Zagreb 1991.

M. Tkalčec

VODOOPSKRBA, dio hidrotehnike, djelatnost koja se bavi prikupljanjem, prijenosom i raspodjelom vode za potrebe stambenih naselja, industrije i poljoprivrede. Voda je prijeko potrebna za opstanak svih živih organizama i nezamjenjiva je u mnogim tehnološkim postupcima. Nedovoljna količina vode na širem geografskom području može biti zapreka razvoju društvenih i gospodarskih djelatnosti na tom prostoru. Proučavanjem količina i kretanja vode na površini Zemlje bavi se hidrologija (v. *Hidrologija*, TE 6, str. 396), a kretanjem vode u tlu hidrogeologija (v. *Geologija*, TE 6, str. 108). Osim dovoljne količine vode, za vodoopskrbu stambenih naselja bitna je i kakvoća vode, koja se pogoršava zbog sve većeg onečišćenja okoliša. Zaštitom vode od onečišćenja, osobito otpadnim vodama, bavi se zdravstvena hidrotehnika (v. *Otpadne vode*, TE10, str. 64). Vodoopskrbni sustav (vodovod) jest skup hidrotehničkih objekata, uređaja i instalacija kojima se voda zahvaća na izvorištu, poboljšava joj se kakvoća i prenosi se do mjesta gdje se neposredno upotrebljava. Planiranje, građenje, upravljanje i održavanje vodoopskrbnog sustava složeni su postupci tehničkih, gospodarskih i pravnih djelatnosti.

Početak gradnje vodoopskrbnih objekata povezan je s razvojem prvih stambenih naselja. Poznati su podaci o izgradnji vodovoda oko 3000. godine. U starom su Egiptu kopani zdenci promjera 3–4 m i dubine više od 200 m. Dizanje vode s velike dubine bilo je poznato u starom Egiptu, Babilonu i Kini. Upotrebljavani su uređaji s vedrima i vitlima, a za razvođenje služile su keramičke, drvene ili olovne cijevi. Građeni su vodovodi kojima se izvor nalazio daleko od naselja. U Jeruzalemu su sačuvani ostaci vodovoda izgrađenog oko 1000. godine. Izgradnja vodovoda osobito se razvila u grčkoj i rimskoj civilizaciji. U to su doba građeni tuneli i mostovi za provođenje vode (v. *Akvedukti*, TE1, str. 69). Poznat je vodovodni tunel, duljine 1 km, za vodovod grada Samosa (550. godine), te akvedukt preko rijeke Gard u Francuskoj, visok 48,77 m. U nas je izgrađen krajem III. i početkom IV. st. rimski vodovod duljine 9 km za opskrbu Dioklecijanove palače u današnjem Splitu. Akvedukti i tuneli rimskog vodovoda i danas se upotrebljavaju za opskrbu Splita. U srednjem vijeku nastaje zastoj u razvoju vodoopskrbe.

Počeci izgradnje vodovoda u europskim gradovima zabilježeni su krajem XII. i početkom XIII. stoljeća. Međutim, u velikim gradovima Europe i Sjeverne Amerike suvremeni su vodovodni sustavi izgrađeni tek tijekom XIX. stoljeća. U nas je značajna izgradnja vodovoda u Dubrovniku. Vodovod od izvora Šumet do grada, duljine oko 10 km, izgrađen je 1436/37. godine. Nakon vodovoda sagrađena je velika Onofrijeva česma u središtu Dubrovnika.

POTROŠNJA VODE

Voda iz vodoopskrbnih sustava upotrebljava se u kućanstvu (za piće, kuhanje, pranje, čišćenje i higijenske potrebe), u proizvodnim i neproizvodnim djelatnostima (za tehnološke postupke, pranje i čišćenje, te kao sredstvo za izmjenu topline), u poljoprivredi, te za komunalne potrebe.

Tablica 1

POTROŠNJA VODE ZA ODREĐENE NAMJENE

Namjena	Prosječna potrošnja L
Piće, priprema i kuhanje hrane (po stanovniku, dnevno)	5...10
Umivanje (po stanovniku, dnevno)	20...30
Kupanje u kadi	200...500
Kupanje pod tušem	40...80
Ispiranje zahoda	10...15
Pranje rublja, ručno (po stanovniku, dnevno)	10...15
Pranje rublja, strojno	130...200
Pranje posuda, čišćenje prostorija (po stanovniku, dnevno)	10...15
Pranje osobnog automobila	200...400
Polijevanje zelenila (po m^2)	2...3

Potrošnja vode u kućanstvu ovisi o načinu stanovanja, klimatskim uvjetima, količini, kakvoći i cijeni vode, načinu mjerenja potrošnje, izgrađenosti kanalizacijskog podsustava, te o životnom standardu i navikama stanovnika. Veća je potrošnja vode u manjim zgradama s vrtovima, u područjima s višom temperaturom ili s dovoljnom količinom kvalitetne vode, gdje je cijena vode razmjerno niska i mjeri se potrošnja pojedinih korisnika, zatim gdje je potpuno izgrađena kanalizacijska mreža i visok životni standard. Srednja dnevna potrošnja vode u kućanstvu može se procijeniti na temelju potrošnje vode za određene namjene (tabl. 1). Ona ovisi o veličini grada i standardu stanovanja i iznosi 70...200 L po stanovniku, uzevši u obzir i gubitke u kućnim instalacijama.

Tablica 2

POTROŠNJA VODE U INDUSTRIJI

Proizvod	Prosječna potrošnja m^3/t
Čelik	>10
Polimerni materijal	30...80
Papir	135...150
Visokokvalitetni papir	>800
Guma	12...13
Koža	70...80
Pekarski proizvodi	2
Tjestenina, keksi	8...15
Čokolada, marmelada	20
Zamrznuto povrće i perad	45...50
Konzervirano meso i povrće	30...35
Konzervirana riba	60
Proizvodi klaonice	40
Mljekarski proizvodi	3...10
Šećer od repe	45...50

Potrošnja vode u proizvodnim i neproizvodnim djelatnostima ovisi ne samo o vrsti i veličini potrošača već i o načinu opskrbe vodom (iz vodovoda, vlastitog izvorišta ili ponovnom upotrebom vode). Potrebna količina vode za veće industrijske potrošače može se odrediti prema jedinici proizvoda (tabl. 2). Za industriju koja ne troši veće količine vode može se računati s dnevnim potrošnjom 0,25...0,5 m^3 po radniku, uz pretpostavku da na površini od 1 ha radi 60...100 radnika. U potrošnji vode sudjeluju i neproizvodne djelatnosti: zanatske radnje, trgovine, ugostiteljstvo, školstvo, zdravstvo, uredi i ostali poslovni prostori. Potrošnja vode računa se prema broju zaposlenih ili broju posjetitelja (tabl. 3).

Tablica 3
DNEVNA POTROŠNJA VODE U OBJEKTIMA
NEPROIZVODNE DJELATNOSTI

Objekt	Osnovica za obračun	Prosječna potrošnja L
Manja zanatska radnja ili trgovina	djelatnik	25...30
Ured, ustanova	djelatnik	40...60
Robna kuća	djelatnik	100...135
Restoran	stolica	120...180
Kavana, bar	stolica	10...20
Hotel visoke kategorije	krevet	600...800
Hotel srednje kategorije	krevet	400...500
Hotel niže kategorije	krevet	300...400
Škola	učenik	25...30
Viša škola	student/ nastavnik	60...80
Bolnica	krevet	500...1000
Kazalište, kino	sjedalo	10...20

Voda iz komunalnih ili regionalnih vodoopskrbnih sustava upotrebljava se u poljoprivredi najčešće pri uzgoju peradi i stoke, pri proizvodnji mlijeka, te pri proizvodnji cvijeća i povrća u staklenicima. Za ostale se potrebe, osobito za navodnjavanje, grade posebni sustavi (v. *Melioracija*, TE 8, str. 360). Potrebna količina vode ovisi o načinu uzgoja stoke i klimatskim prilikama (tabl. 4).

Tablica 4
DNEVNA POTROŠNJA VODE U POLJOPRIVREDI

Namjena	Osnovica za obračun	Prosječna potrošnja L
Krupna stoka	komad	50...80
Sitna stoka	komad	10...20
Perad	komad	0,5...1
Stoka za proizvodnju mlijeka u stočnim pogonima	komad	1200...1400
Pašnjak za intenzivnu mljekarsku proizvodnju	ha	60...80
Staklenik	ha	do 12 500 u zimskim uvjetima, a ljeti uvećano 3 i više puta

U komunalnim djelatnostima voda se upotrebljava za pranje ulica, trgova, tržnica, za zalijevanje javnog zelenila, održavanje zdenaca i ukrasnih vodoskoka, za gašenje požara itd. (tabl. 5 i 6).

Tablica 5
POTROŠNJA VODE ZA KOMUNALNE POTREBE

Namjena	Prosječna potrošnja L/m ²
Pranje ulica i trgova	1...2
Pranje tržnica	3...5
Zalijevanje zelenila	2...3

Potrošnja vode ne ovisi samo o klimatskim uvjetima i načinu gradnje naselja nego i o navikama stanovnika, odnosno standardu održavanja naselja, pa ju je potrebno utvrditi za svako naselje posebno. Osim toga, u vodoopskrbnom sustavu treba računati i s gubicima, tj. razlikom između količine vode koja ulazi u sustav i količine izmjerene (naplaćene) vode na potrošnim mjestima. Već prema starosti, odnosno stanju vodoopskrbnog sustava, gubici mogu iznositi 5...50% ukupne količine vode. Najčešće su to gubici na vodospremama (cijedenje i prelijevanje), u vodovodnim cijevima (posebno na spojevima cijevi), u kućnim instalacijama (posebno pri maloj noćnoj potrošnji, na koju vodomjeri nisu osjetljivi), te neizmjerene količine za komunalne potrebe.

Srednja dnevna potrošnja vode po stanovniku ovisi o veličini grada, o razvijenosti industrije, te o životnom standardu. U malim

naseljima s niskim standardom stanovanja i vrlo malom potrošnjom u industriji ona iznosi 90...150 L; u gradskim i seoskim naseljima sa srednjim standardom stanovanja, ograničenom količinom vode i malom potrošnjom u industriji 150...200 L (npr. Bruxelles 178 L, Colombo 135 L, švedski gradovi bez industrije 161 L); u gradskim i seoskim naseljima, predgrađima, gradovima sa srednjom potrošnjom u industriji 200...300 L (Tel Aviv 281 L, Birmingham 273 L, Bordeaux 270 L, Barcelona 267 L); u većim gradovima u umjerenim klimatskim uvjetima sa srednjom potrošnjom u industriji 300...350 L (Liverpool 349 L, Frankfurt na Majni 312 L, Kopenhagen 311 L); u velikim gradovima s visokim standardom stanovanja i velikom potrošnjom u industriji 400...500 L (Glasgow 500 L, Marseille 486 L, Antwerpen 456 L, Torino 425 L, Milano 400 L); u vrlo velikim gradovima s visokim standardom stanovanja, s velikim industrijskim zonama i izrazitom potrošnjom vode 600...700 L (Philadelphia 741 L, Rim 651 L, San Francisco 608 L).

Tablica 6
POTROŠNJA VODE ZA GAŠENJE POŽARA

Broj stanovnika u tisućama	Mogući broj istodobnih požara	Najmanja količina vode po jednom požaru L/s
do 5	1	10
6...10	1	15
11...25	2	20
26...50	2	25
51...100	2	35
101...200	3	40
201...300	3	45
301...400	3	50
401...500	3	55
501...600	3	60
601...700	3	65
701...800	3	70
801...1000	3	80
1001...2000	4	90

Srednja se dnevna potrošnja vode za vodoopskrbno područje planira prema izrazu

$$Q_{d,s} = q_1 N_1 + q_2 N_2 + \dots + q_n N_n, \quad (1)$$

gdje je q_1, q_2, q_n srednja dnevna potrošnja vode po različitim vrstama korisnika (stanovnici, zaposleni, hotelski gosti itd.), a N_1, N_2, N_n broj različitih korisnika. Broj stanovnika i svih ostalih korisnika na određenom području unaprijed se određuje na temelju prostornih i gospodarskih planova razvoja za razdoblja izgradnje pojedinih faza vodoopskrbnog sustava. Potrošnja vode mijenja se tijekom godine prema klimatskim prilikama i privrednoj djelatnosti područja (npr. turistička ili sezonska industrijska djelatnost kao što je rad u šećeranama). Maksimalna je dnevna potrošnja

$$Q_{d,max} = K_d Q_{d,s}, \quad (2)$$

gdje je K_d koeficijent neravnomjernosti dnevne potrošnje i iznosi 1,1...3,5. Veću dnevnu potrošnju imaju manja naselja, turistička mjesta i naselja s velikom potrošnjom vode za zalijevanje zelenih površina. Maksimalnu dnevnu potrošnju određuje kapacitet izvora, glavnoga dovodnog cjevovoda, uređaja za čišćenje vode, vodospreme i crpnih stanica s tlačnim cjevovodima. Voda se neravnomjerno troši i tijekom dana, a posebno je velika razlika između dnevne i noćne potrošnje. Kolebanje satne potrošnje slično je onome dnevne potrošnje. Maksimalna satna potrošnja računa se prema izrazu

$$Q_{h,max} = \frac{Q_{d,max}}{24} K_h, \quad (3)$$

gdje je K_h koeficijent neravnomjernosti satne potrošnje i iznosi 1,2...2,5. Na osnovi maksimalne satne potrošnje dimenzionira se razvodna mreža naselja.

IZVORIŠTA VODE

Od ukupne količine vode koja se pojavljuje u hidrološkom ciklusu na Zemlji (v. *Hidrologija*, TE 6, str. 396) za vodoopskrbu su važne podzemne i površinske vode. Od podzemnih voda to su izvori, voda temeljnica u području s međuzrnskom poroznosti stijena i voda u području s pukotinskom poroznosti stijena (krško područje) (v. *Geologija*, TE 6, str. 108), a od površinskih voda to su vodotoci, prirodna jezera, umjetna jezera (akumulacije) i spremnici za upravljanje i zadržavanje vodenog toka (retencije i spremnici za prikupljanje oborinske vode). Zbog povećane potrošnje vode na Zemlji (porast broja stanovnika, povećana proizvodnja hrane, promjene uvjeta stanovanja i zdravstvenih prilika) i stalnog onečišćenja prirodnih voda sve se više primjenjuju postupci obnove kakvoće vode i sve je češća upotreba vode prema stupnju kakvoće. Obnovljena voda jest odsoljena (desalinirana) morska i slankasta (bočata, brakična) voda, te pročišćena otpadna voda.

Izvori su mjesta gdje podzemna voda izlazi na površinu. Pojava podzemne vode u obliku izvora ovisi o geološkim i morfološkim uvjetima, tj. o rasporedu propusnih i nepropusnih stijena, pukotina i rasjeda, te o reljefu terena i razini podzemne vode. Razlikuju se dva temeljna tipa izvora: silazni i uzlazni. U silaznim izvorima voda istječe na površinu pod utjecajem sile teže, a u uzlaznim zbog hidrostatskog tlaka. Izvori mineralnih voda jesu oni kojih voda sadrži više od 1000 mg/L otopljenih tvari. Termalni su izvori oni kojima je temperatura vode viša od 20 °C. Pogodnost izvora za vodoopskrbu ovisi o količini i kakvoći vode. Količina vode na izvoru (izdašnost izvora) ovisi o veličini i hidrološkim prilikama priljevnog područja te o hidrogeološkim svojstvima tla. Izdašnost se izvora mijenja tijekom godine, ali i kroz dulje vremensko razdoblje. Ona u kršu može kolebatu od 1 : 10 do 1 : 100, pa i više. Za vodoopskrbu su pogodni oni izvori kojima je najmanja izdašnost, najjeftinije više godina, veća od planiranih potreba u danu najveće potrošnje. Kakvoća je izvorske vode također promjenjiva; ona ovisi o veličini i načinu upotrebe priljevnog područja te o poroznosti i propusnosti podzemlja. Zbog razmjerno brzog tečenja vode stijenskim pukotinama te zbog neposredne povezanosti površine i podzemlja ponorima, u kršu su moguća povremena onečišćenja vode, osobito za jakih padalina nakon duljega sušnog razdoblja.

Voda temeljnica u području s međuzrnskom poroznosti ispunjuje šupljine i pore među zrcima stijena. Od prozračne (nezasićene) zone odijeljena je vodenim licem. Slobodna voda temeljnica teče podzemljem pod utjecajem sile teže, već prema stupnju poroznosti i propusnosti stijena (v. *Hidrogeologija*, TE 6, str. 114). Iznad vodonosnih slojeva do površine zemljišta najčešće se nalazi krovina, sloj stijena male vodopropusnosti. Vodonosni slojevi leže na podini od nepropusnih stijena. Oni se mogu po dubini izmjenjivati s nepropusnim slojevima. Podzemne vode koje se nalaze u vodonosnom sloju ukliještene između dva nepropusna sloja pod hidrostatskim se tlakom pojavljuju na površini kao arteške ili subarteške vode.

Vode temeljnice često se upotrebljavaju za vodoopskrbu. Količina vode koja se može crpiti iz podzemlja ovisi o propusnosti i debljini vodonosnog sloja te o veličini priljevnog područja. Za vodoopskrbu se može upotrijebiti onoliko vode koliko se obnovi procjeđivanjem sa zemljišta ili iz površinskih voda, najčešće vodotoka. Za tu se namjenu ne smiju crpiti vode koje se nalaze ispod višegodišnje najniže razine vodenog lica, što je stalna statička zaliha. Za vodoopskrbu su povoljni vodonosnici kojima je najmanja izdašnost (dinamička zaliha) jednaka planiranoj potrošnji vode u danu najveće potrošnje, po mogućnosti u vremenu crpljenja od 16 sati dnevno. Kakvoća podzemne vode ovisi o načinu upotrebe zemljišta iznad priljevnog područja, debljini i sastavu krovine, vremenu tečenja vode podzemljem, filterskoj sposobnosti podzemlja, te o mineralnom sastavu tla s obzirom na svojstva vode, otapanje krutina, tekućina i plinova.

Vode u području s pukotinskom poroznosti ispunjuju šupljine i pukotine nastale u stijenama nakon njihova postanka, najčešće tektonskim poremećajima. To su tipične vode u kršu, gdje se voda pojavljuje u obliku manjih ili većih podzemnih tokova, a ponekad i kao slobodna voda s vodenim licem. U kršu, gdje prevladavaju vapnenci, podzemne vode stalno proširuju, produ-

bljuju i općenito mijenjaju pukotine svojim mehaničkim i agresivnim kemijskim djelovanjem (zbog slobodnog ugljičnog dioksida). Velika su kolebanja u količini i kakvoći vode. Podzemne se vode iz pukotina najčešće upotrebljavaju kao izvori kada podzemni tokovi naidu na zapreku. Procjene ukupne količine vode u šupljinama i pukotinama vrlo su nesigurne zbog nepoznavanja stvarnog obujma šupljina u stijenama. Kakvoća vode ovisi o brzini tečenja, veličini šupljina te o povezanosti s površinom i mogućim izvorom onečišćenja.

Vodotoci su površinske vode koje teku pod utjecajem sile teže u koncentriranim tokovima brzinom koja ovisi o nagibu dna korita ili vodenog lica. Količina vode koja protječe određenim presjekom vodotoka ovisi o hidrološkim prilikama, veličini, obliku i padu slijeva, te o geološkim, biološkim i klimatskim činiteljima. Čovjekove djelatnosti mogu bitno utjecati na prirodni režim tečenja u vodotoku. Kolebanje količine vode, pa tako i razine vodenog lica, može biti veliko prilikom neporemećenog dotjecanja u slijevu i tečenja u vodotoku. Kakvoća vode u vodotoku ovisi o načinu upotrebe zemljišta u slijevu, a na nju posebno utječu otpadne vode (v. *Otpadne vode*, TE 10, str. 64). Vodotoci se upotrebljavaju za vodoopskrbu samo kad nema drugih izvorišta vode. Ako je moguće, voda se zahvaća iz gornjih dijelova toka, gdje je obično čistija.

Prirodna jezera i umjetna jezera (akumulacije) spremnici su za upravljanje vodenim tokom i za njegovo zadržavanje (retenciju) te za prikupljanje oborinske vode; te su vode stajačice. Količina vode povećava se dotjecanjem iz slijeva ili vodotoka, a smanjuje se isparivanjem, procjeđivanjem i otjecanjem. Količina vode za vodoopskrbu ovisi o ukupnom obujmu jezera (spremnika) te o upotrebi voda i gospodarenju vodama. Kakvoća vode ovisi o sastavu voda koje dotječu u jezero (spremnik), o morfološkom obliku jezera, vodnom režimu, klimatskim činiteljima te o načinu upotrebe priobalnog područja i vodene površine. U dubokim su jezera bitne razlike u kakvoći vode pojedinih slojeva u zimskim i ljetnim mjesecima. U pridenim se slojevima (slojevi pri dnu) razgrađuju organske tvari, nedostaje otopljenog kisika, a povećan je udio otopljenog ugljičnog dioksida, sumporovodika, metana i ostalih proizvoda organske razgradnje, osobito dušičnih i fosfornih spojeva. U površinskom se sloju ljeti zbiva fotosinteza, otopljenog kisika ima i više od granice zasićenja, povećana je mutnoća vode zbog mikroorganizama i makroorganizama, a temperatura je bitno povišena. Tijekom zime, već prema klimatskim prilikama, može se zalediti površinski sloj vode.

Odsoljena (desalinirana) voda, morska ili slankasta voda, obnovljena je voda. Iz morske ili slankaste vode uklanjaju se otopljene soli, osobito kloridi i sulfati, koji tu vodu čine neupotreblijivom za vodoopskrbu. Odsoljuje se samo onda kad nema drugih izvorišta ili kad su troškovi dovođenja vode veći od troškova odsoljavanja.

Pročišćena otpadna voda sekundarno je izvorište vode. Čišćenjem otpadne vode moguće je ukloniti tvari koje tu vodu čine neupotreblijivom. Pročišćena se otpadna voda može prema stupnju kakvoće upotrijebiti za one namjene gdje nije potrebna kakvoća vode za piće: za pranje ulica, zalijevanje zelenila i u industriji za hlađenje energetskih postrojenja. Upotrebom pročišćene otpadne vode u poljoprivredi pridonosi se boljem gospodarenju vodama. Upuštanjem u podzemlje može se povećati izdašnost podzemnih voda. U priobalnim se područjima pročišćena otpadna voda često upušta u podzemlje da bi se stvorila hidraulička zapreka i tako spriječilo zasoljavanje priobalnih podzemnih voda procjeđivanjem morske vode.

KAKVOĆA VODE

Kakvoća vode opisuje se fizikalnim, kemijskim i mikrobiološkim pokazateljima. Prema vrijednosti tih pokazatelja određuje se upotreblijivost vode za određene namjene. U nekim su zemljama propisane norme kakvoće vode za piće, a najčešće se primjenjuju norme Svjetske zdravstvene organizacije i Europske ekonomske zajednice.

Fizikalni pokazatelji jesu temperatura, boja, miris, okus, mutnoća, udio suspendiranih tvari i električna provodnost. Povoljna je temperatura vode za piće 8·12 °C.

Boja vode može biti prava i prividna. Prava boja potječe od otopljenih humusnih tvari ili mineralnih soli, osobito željeza i mangana, a prividna od raspršenih koloidnih tvari i suspenzija. Boja vode veoma je važna za njezinu upotrebu u nekim industrijskim granama, npr. u tekstilnoj industriji.

Miris i okus vode međusobno su povezani. Vode neugodna mirisa obično su i neugodna okusa, iako vode kojima se osjeća okus (npr. slankast okus od otopljenoga natrijeva klorida) nemaju mirisa. Miris i okus vode potječu od otopljenih plinova, mineralnih soli, organskih tvari, a posebno od algi i proizvoda koji nastaju nakon dezinfekcije vode klornim spojevima. Voda za piće mora biti bez mirisa i okusa.

Mutnoća vode može potjecati od raspršenih sitnih čestica organskog i anorganskog podrijetla. Sve su mutne vode sumnjive, pa je dopuštena mutnoća vode ograničena.

Suspendirane se tvari nalaze u vodi u obliku čestica anorganskog (pijesak, glina) i organskog podrijetla (alge). Koncentracija suspendiranih tvari u površinskim vodama može biti vrlo velika, a malena je u podzemnim vodama temeljnicama u zrnatoj sredini. Voda za piće ne smije sadržavati suspendirane tvari.

Električna provodnost vode ovisi o koncentraciji otopljenih soli i stupnju disocijacije na ione. Otopljene silicijeve soli čine ukupne otopljene krutine u vodi, a izražavaju se ukupnim isparnim ostatkom (pri 105°C). Za većinu voda postoji u tome pouzdana međuovisnost, pa se zbog jednostavnosti mjerenja, osobito pri trajnom ispitivanju, električna provodnost uzima i kao pokazatelj za utvrđivanje ukupnih otopljenih krutina u vodi.

Kemijski pokazatelji dijele se prema količini ili svojstvima tvari na pokazatelje vode prirodnog sastava, na tvari koje su nepoželjne u vodi i na otrovne tvari.

Kemijski pokazatelji vode prirodnog sastava jesu: koncentracija vodikovih iona, tvrdoća vode i sljedeći njezini sastojci: anioni (kloridi i sulfati), zatim kationi silicija, kalcija, magnezija, natrija, kalija i aluminija, te otopljeni kisik i slobodni ugljični dioksid.

Koncentracija vodikovih iona (pH) vrlo je važan pokazatelj kakvoće vode. S obzirom na vrijednost pH voda ima kisela ili lužnata svojstva. U prirodnim vodama postoji međuovisnost vrijednosti pH i prisutnosti slobodnog ugljičnog dioksida, karbonata i hidrogenkarbonata. Kad je vrijednost pH manja od 7, u vodi ima slobodnog ugljičnog dioksida, povećana je kiselost te nastaje korozija, a povećava se i topljivost teških metala (npr. bakra, cinka i olova). Voda s povišenom vrijednosti pH ima veću tvrdoću, a kad su vrijednosti pH veće od 8,3, u vodi nestaje slobodnog ugljičnog dioksida, koji prelazi u karbonate i bikarbonate pa se povećava lužnatost vode.

Tvrdoća vode pokazatelj je vrste i koncentracije kalcijevih i magnezijevih spojeva u vodi. Ukupna se tvrdoća vode sastoji od karbonatne ili prolazne tvrdoće i nekarbonatne ili stalne tvrdoće. Karbonatnu tvrdoću čine kalcijevi i magnezijevi hidrogenkarbonati, a nekarbonatnu tvrdoću kalcijevi i magnezijevi kloridi i sulfati, nitrati, silikati i drugi njihovi spojevi (v. *Voda*). Prolazna tvrdoća uzrokuje teškoće u cjevovodu, osobito u sustavu za grijanje vode, jer topljivi hidrogenkarbonati prelaze zagrijavanjem u netopljive karbonate, koji se talože na stijenama cijevi i kotlova.

Kloride u obliku aniona Cl^- sadrže u većoj ili manjoj količini gotovo sve prirodne vode. Oni najčešće potječu od natrijeva klorida, a rjeđe od kalcijeva ili magnezijeva klorida. Koncentracija klorida u prirodnim vodama u blizini mora može biti povećana zbog prodiranja morske vode. Veće koncentracije klorida (više od 200 mg/L) uzrokuju koroziju u cijevima, osobito u sustavu za grijanje vode. Ako je koncentracija klorida u vodi 150 mg/L i viša, voda je slankasta okusa i nije za piće. U nekim je zemljama propisana mnogo niža koncentracija klorida.

Sulfati u obliku aniona SO_4^{2-} mogu u prirodnim vodama nastati otapanjem sadre ili procjeđivanjem morske ili industrijske vode. Sulfati u vodi uzrokuju koroziju, osobito betona. Vode s koncentracijom sulfata 200–600 mg/L umjereno su agresivne, a iznad tih vrijednosti jako agresivne. Veće koncentracije sulfata mijenjaju okus vode, a voda koja sadrži magnezijev ili natrijev sulfat djeluje kao laksativ. U dubokim podzemnim vodama sulfati se zbog nedostatka kisika mogu reducirati u sumporovodik, plin koji vodi daje neugodan miris.

Silicij se pojavljuje u prirodnim vodama zbog otapanja stijena koje ga sadrže (kvarciti, pješčenjaci). On ne utječe na ljudsko zdravlje, ali u industrijskim postupcima stvara tanak sloj netopljivih silikata (kamenca) na stijenama posuda i cijevi, koji se teško uklanja.

Aluminija također ima u prirodnim vodama. U vodi za piće može se pojaviti ako su loše vođeni postupci čišćenja vode u kojima se aluminijev sulfat upotrebljava kao sredstvo za zgrušavanje. Dopuštena koncentracija aluminija ograničena je u vodi za piće iz zdravstvenih razloga; aluminij je osobito štetan za oboljele od bubrežnih bolesti koji se liječe dijalizom.

Otopljeni kisik pokazatelj je udjela organske tvari u vodi i stupnja razgradnje, odnosno samočišćenja vode. Zasićenost kisikom u površinskim vodama manja od 75% pokazatelj je povećane potrošnje kisika za razgradnju organske tvari te nemogućnosti da se kisik nadoknadi prirodnim prozračivanjem (aeracijom). Takve vode treba posebno ispitati ako su površinskog podrijetla, ali za podzemne vode taj pokazatelj nema važnosti.

Tvari nepoželjne u vodi u većoj količini jesu: amonijak, nitrati, nitrati, sumporovodik, fluoridi, otopljene soli bora, željeza, mangana, bakra, cinka, kobalta, barija, srebra i fosfora, ugljikovodici, fenoli, površinski aktivne tvari, organoklorini spojevi i teški metali.

Dušični su spojevi pokazatelj stupnja biološke razgradnje organske tvari u vodi. Veće količine *amonijaka* znak su svježeg onečišćenja organskom tvari (npr. kućanskim ili industrijskim otpadnim vodama). U dubokim podzemnim vodama amonijak može nastati redukcijom nitrata. *Nitrati* su pokazatelj višeg stupnja razgradnje organske tvari, tj. udaljeniji izvor onečišćenja organskom tvari, dok su *nitrati* pokazatelj konačne razgradnje organske tvari. Međutim, veće koncentracije nitrata, osobito u podzemnim vodama, mogu potjecati od neiskorištenog dijela umjetnog gnojiva. Vode s većom koncentracijom amonijaka i nitrata sumnjive su, a vode s većom koncentracijom nitrata štetne su za ljude. Nitrati uzrokuju methemoglobinemiju, koja je posebno opasna za malu djecu.

Željezo se u prirodnim vodama često nalazi otopljeno, u koloidnom i suspendiranom stanju te u kompleksnim organskim spojevima, što nema posebne posljedice za ljude. U većim koncentracijama željezo daje vodi gorak okus i smeđu boju. U podzemnim se vodama željezo, zbog nedostatka kisika, nalazi otopljeno u dvovalentnom stanju, a u dodiru sa zrakom oksidira se u trovalentni željezni hidroksid, koji se taloži i može stvarati teškoće u tekstilnoj industriji (mrlje od hrđe). Mangan je čest u prirodnim vodama, zajedno sa željezom ili zasebno. Njegovo je djelovanje u vodi jednako kao i željeza.

Organske tvari pojavljuju se u prirodnim vodama otopljene, u koloidnom ili u suspendiranom stanju. Nastaju raspadanjem biljaka i životinja, te zbog ispuštanja kućanskih i industrijskih otpadnih voda i procjednih poljoprivrednih voda. Mnoge su organske tvari biološki razgradive, iz vode se lako uklanjaju i nisu opasne za ljude. Međutim, neki organski spojevi prirodnog i industrijskog podrijetla mogu u vodi za piće biti neugodni, pa i opasni. *Fenoli*, koji su obično pokazatelj onečišćenja otpadom petrokemijske industrije, pojavljuju se u vodi i nakon ugibanja algi i viših organizama. Pri dezinfekciji vode klorom i uz vrlo male koncentracije fenola stvaraju se klor-fenoli, koji vodi daju neugodan okus i miris (v. *Fenoli*, TE 5, str. 388).

Otrovne tvari koje se mogu pojaviti u vodi jesu otopljene soli arsena, berilija, kadmija, kroma, žive, nikla, olova, antimona, selen i vanadija, zatim cijanidi, policiklički aromatski ugljikovodici, poliklorirani bifenili, pesticidi i slični proizvodi.

Teški metali u načelu su svi otrovni. Pojavljuju se u prirodnim vodama zbog otapanja mineralnih naslaga, ispuštanja industrijskog otpada, uništavanja algi u spremnicima vode dodavanjem bakrenih soli, te u vodi za piće koja prolazi korodiranim vodovodnim cijevima (olovo, cink, bakar). Teški metali: bakar, cink, kobalt, mangan, srebro i željezo u većim su koncentracijama otrovni za ljude. Međutim, kadmij, krom, nikal, olovo i živa otrovni su i u vrlo maloj količini, uzrokuju mnoge bolesti, a neki su karcinogeni i teratogeni.

Aromatski ugljikovodici (v. *Aromatski ugljikovodici*, TE1, str. 418), a posebno policiklički, opasni su za ljude i u vrlo malenim

koncentracijama. *Klorirani ugljikovodici* u načelu su otrovni (v. *Klor*, TE 7, str. 168).

Poliklorirani bifenili klorirani su ugljikovodici koji se upotrebljavaju u industriji (tekućine u hidrauličkim uređajima, izmjenjivačima topline, izolacijska tekućina u električnim transformatorima), a u vodu dolaze s industrijskim otpadom. Vrlo su otrovni i opasni za ljude jer se ugrađuju u prehrambene lance, povećavajući koncentraciju.

Pesticidi dolaze u vodu uglavnom procjeđivanjem i otjecanjem voda s poljoprivrednih zemljišta na kojima se primjenjuju zaštitna sredstva, te s industrijskim otpadnim vodama (v. *Pesticidi*, TE 10, str. 237). Osim ukupnih pesticida, zbog opasnosti za ljude, propisima su strogo ograničene koncentracije insekticida u vodi za piće, i to kloriranih ugljikovodika (DDT, lindan, dieldrin, endrin itd.), organofosfornih spojeva (paration, malation itd.), karbamata herbicida i fungicida.

Mnoge vode u tragovima sadrže *radionuklide*. Prirodna je radioaktivnost u vodama obično vrlo malena, pa nije opasna za ljude. Međutim, radioaktivnost se može povećati ispiranjem atmosfere oborinskim vodama koje onečišćuju površinske, a i podzemne vode. Izvori povećane radioaktivnosti u atmosferi jesu nuklearne eksplozije te povećano ispuštanje radionuklida iz nuklearnih elektrana i ostalih proizvodnih pogona gdje se upotrebljavaju radionuklidi (v. *Radiokemija i radionuklidi*, TE 11, str. 415).

Mikrobiološki pokazatelji kakvoće vode dijele se na redovite i povremene. Pri redovitoj se kontroli vode ispituje udio ukupnih koliformnih organizama, fekalnih koliformnih organizama, fekalnih streptokoka, sulfitoreducirajućih klostridija, te ukupna količina aerobnih mezofilnih bakterija. Povremeno, već prema higijensko-epidemiološkim prilikama, ispituju se još salmonelle, patogeni stafilocoki, fekalni bakteriofagi, enterovirusi, paraziti (crijevne protozoe i helminti), alge i drugi mikroorganizmi. Neki mikroorganizmi mogu uzrokovati različite bolesti, a neki smetnje u radu vodoopskrbnih objekata i instalacija. Zbog teškoća pri određivanju pojedinih patogenih mikroorganizama u vodi, najprije se ispituje *indikatorskim organizmima* (ukupni koliformi, fekalni koliformi), koji pokazuju je li voda mikrobiološki onečišćena i sadrži li patogenih mikroorganizama. Mikroorganizmi fekalnog podrijetla i patogeni mikroorganizmi u prirodnim se vodama pojavljuju najčešće zbog ispuštanja nepročišćenih otpadnih voda (v. *Otpadne vode*, TE 10, str. 64).

VODOOPSKRBNI SUSTAV

Vodoopskrbni sustav skup je građevina, uređaja i naprava kojima se prirodne vode zahvaćaju, pročišćavaju, dovode do mjesta potrošnje i raspodjeljuju. Glavni su dijelovi vodoopskrbnog sustava: vodozahvati, uređaji za čišćenje, crpne stanice, vodospreme, dovodni cjevovodi i vodovodne mreže. Prema načinu pogona vodoopskrbni se sustav dijeli na gravitacijski i tlačni.

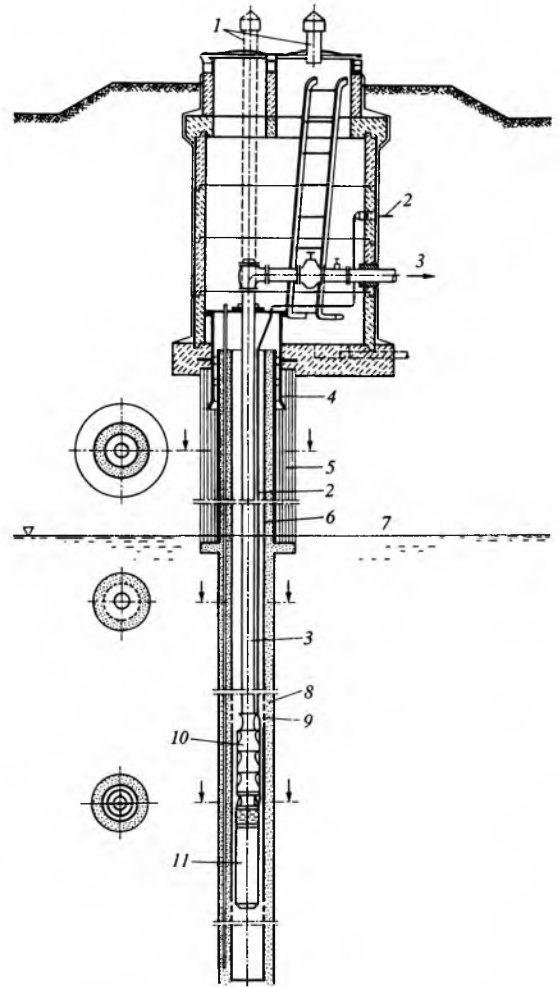
S obzirom na raspoložive i potrebne količine vode grade se komunalni i regionalni vodovodi. *Komunalni vodovodi* opskrbljuju jedno mjesto ili grad s prigradskim naseljima. Udaljenost od vodozahvata do mjesta potrošnje razmjerno je malena. *Regionalni vodovodi* grade se u područjima gdje nema dovoljno vode u blizini svakog naselja. Voda se zahvaća na jednom mjestu u regiji te se dovodnim cjevovodima provodi do naselja. Udaljenost od zahvata vode do naselja može biti više desetaka kilometara.

Vodozahvati

Vodozahvati (zahvati vode) građevine su koje omogućuju uzimanje određene količine vode za potrebe vodoopskrbe. Prema podrijetlu vode oni se dijele na vodozahvate za vode temeljnice, za izvorske i za površinske vode. Da bi se sačuvala dobra kakvoća vode za piće, primjenjuju se zaštitne mjere na cijelom priljevnom području. Osim općih zaštitnih mjera kojima se zabranjuje neposredno i posredno unošenje opasnih i štetnih tvari u prirodne vode, propisuju se i posebne zaštitne mjere. Među ostalim, sva se područja neposredno oko vodozahvata moraju ograditi i zaštititi od pristupa ljudi i životinja.

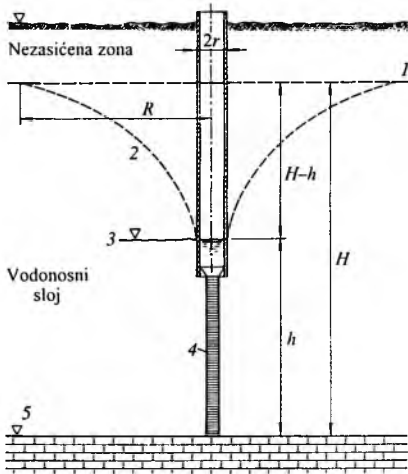
Vodozahvati za vode temeljnice. Vode temeljnice zahvaćaju se vertikalnim i horizontalnim vodozahvatima, već prema položaju i debljini vodonosnog sloja. Vertikalni su vodozahvati kopa-

ni, pobijeni ili bušeni zdenci. *Kopani zdenci* grade se uglavnom za manje vodovode i samostalne zgrade. Nužan je uvjet da razina voda bude visoka, a tlo nevezano. Promjer je zdenaca 1,0...1,5 m. *Pobijeni zdenci* primjenjuju se samo za samostalne manje zgrade, uz uvjet da je voda na dubini 5...10 m, a zemljište pjeskovito ili šljunkovito. Za srednje i veće vertikalne vodozahvate grade se samo *bušeni zdenci*. Bušeni se zdenac sastoji od glave, zaštitne cijevi i procjedne cijevi (sl. 1). Zaštitne su cijevi najčešće od čelika, a procjedne cijevi za agresivne vode od čelika, keramike ili polietilena. Promjer procjedne cijevi ovisi o veličini crpke, ali i za vrlo male količine iznosi najmanje 300...350 mm. Crpljenjem se snižuje razina vode temeljnice oko zdenca u obliku obrnuta lijevka. Količina vode koja se crpi iz zdenca ovisi o promjeru zdenca, promjeru i visini lijevka te o poroznosti, propusnosti i debljini vodonosnog sloja (sl. 2). Kad se voda iz zdenca crpi u količini većoj od prihranjivanja sloja vode temeljnice, promjer se lijevka oko zdenca povećava. Ako nije dovoljna količina vode iz jednog zdenca, buše se dodatni zdenci. Sniženje razine vode temeljnice oko zdenaca utječe na količinu priljevne vode, pa je ukupan kapacitet vodozahvata manji od zbroja kapaciteta neovisnih zdenaca.



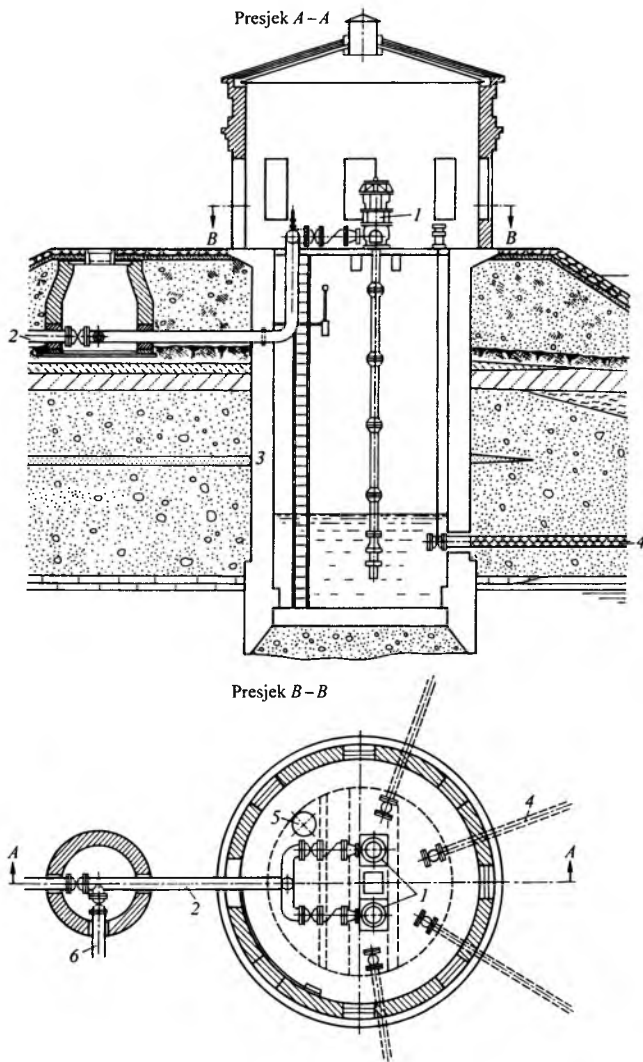
Sl. 1. Bušeni zdenac. 1 odznačne cijevi, 2 električni kabel, 3 tlačni cjevovod, 4 glava zdenca, 5 cementno-glineni sloj, 6 zaštitna cijev, 7 razina vode prije početka crpljenja, 8 šljunčana ispuna, 9 procjedna cijev, 10 crpka, 11 elektromotor

Horizontalni zahvati vode temeljnice primjenjuju se kad su vodonosni slojevi manje debljine. Kad je voda temeljnica male dubine, vodozahvati se oblikuju kao drenažni jarci ili kao prohodni podzemni hodnici (galerije). Za vodonosne slojeve dubine 20...50 m i debljine 15...20 m primjenjuju se horizontalni lepezasti vodozahvati. Jedna vrsta takva vodozahvata naziva se *Ranneyev zdenac* (sl. 3). Iz sabirnog okna promjera 4,0 m potiskuju se horizontalne cijevi koje dreniraju vodonosni sloj. Voda zbog sile teže istječe u sabirno okno, odakle se dalje diže crpkama. Pred-



Sl. 2. Snižavanje razine vode tijekom crpljenja. 1 razina vode temeljnice, 2 linija sniženja razine, 3 razina vode u zdencu, 4 procjedna cijev, 5 podina

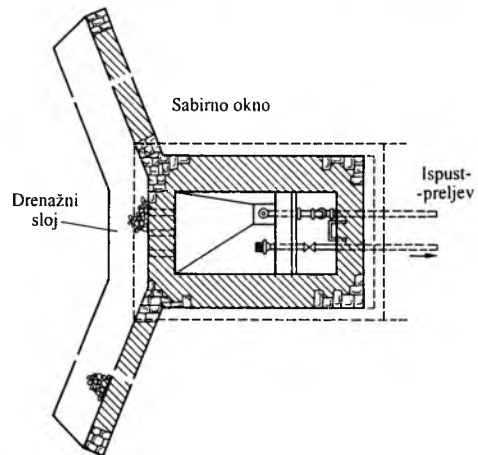
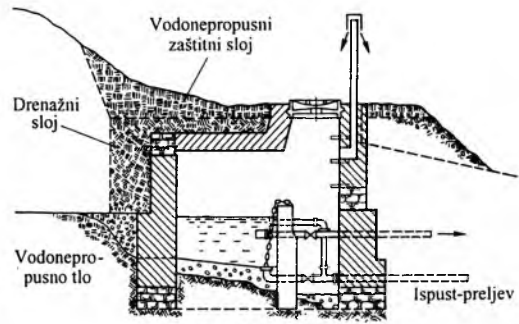
nost je tih zdenaca u tome što se voda može uzimati iz najpogodnijih slojeva vode temeljnice, a nedostatak su veliki troškovi gradnje.



Sl. 3. Ranneyev zdenac. 1 crpke, 2 tlačni cjevovod, 3 sabirno okno, 4 horizontalne drenažne cijevi, 5 silazni otvor, 6 ispust

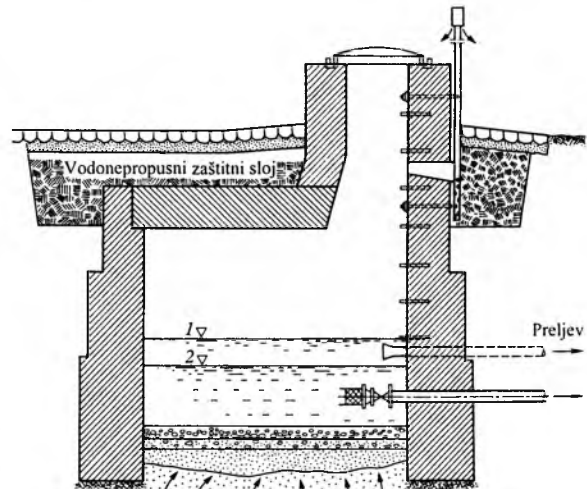
Vodozahvati za izvore. Prema vrsti izvora vodozahvati mogu biti silazni ili uzlazni. Osnovno je načelo izradbe vodozahvata da se ne smije poremetiti prirodan tok vode. Da bi se spriječilo dizanje razine vode na izvoru zbog usporavanja vodenog toka, na svim se vodozahvatima mora postaviti preljevna cijev na visini prirodne razine izvorske vode. Vodozahvati na silaznim izvorima

grade se kao spremnici za skupljanje vode (sl. 4). Već prema hidrogeološkim prilikama, grade se i dodatni drenažni vodozahvati okomito na smjer tečenja vode kako bi se prihvatila sva voda



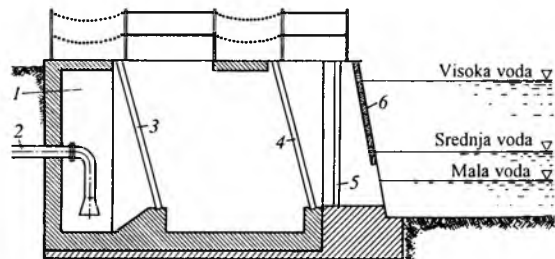
Sl. 4. Vodozahvat na silaznom izvoru

i usmjerila prema spremniku. U uzlaznim se izvorima nakon čišćenja mjesta gdje se voda diže od nevezanog materijala (bez miniranja) postavlja sabirno okno, odakle se uzima voda za vodoopskrbu (sl 5).



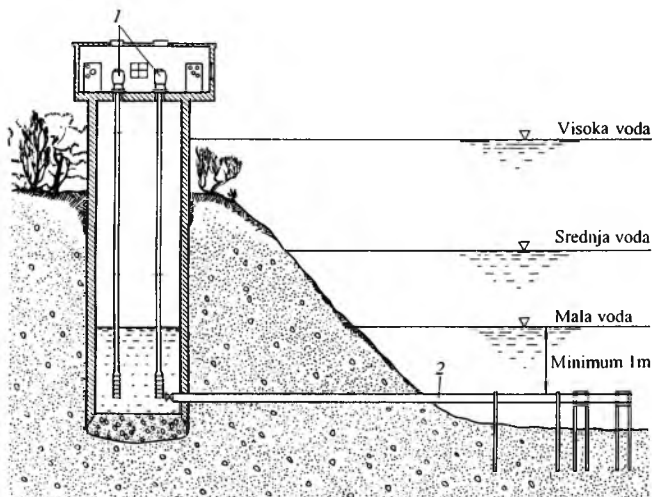
Sl. 5. Vodozahvat na uzlaznom izvoru. 1 predviđena maksimalna razina, 2 radna razina

Vodozahvati za površinske vode. Površinske vode mogu biti onečišćene krupnim plutajućim tvarima, što treba uzeti u obzir pri izboru mjesta i načina zahvata. Temperatura površinskih voda bitno ovisi o atmosferskim prilikama, pa to također utječe na oblikovanje vodozahvata, posebno u jezerima i akumulacijama. Vodozahvat se na vodotocima postavlja na mjestu gdje je najmanje taloženje nanosa (konkavna obala). Kad su obale strmije i



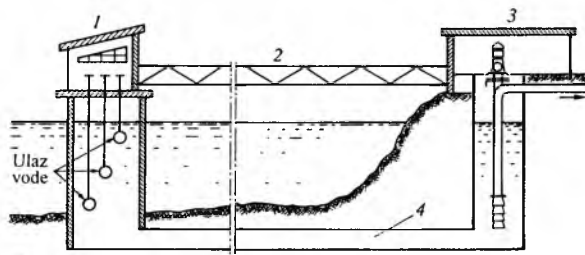
Sl. 6. Obalni vodozahvat. 1 sabirno okno, 2 usisni cjevovod, 3 fina rešetka, 4 gruba rešetka, 5 pločasti zatvarač, 6 uronjena pregrada

stabilne, vodozahvatna građevina može biti na obali (sl. 6). Na ulazu u zahvatnu građevinu treba postaviti rešetke s automatskim čišćenjem. Na blago nagnutim obalama ili dijelovima obale sklonim promjenama vodozahvat se postavlja u riječnom koritu (sl. 7). Tada ga je potrebno zaštititi od zamuljivanja, oštećenja gra-

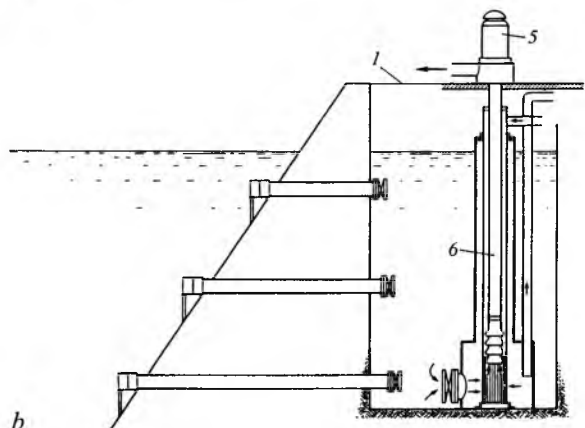


Sl. 7. Vodozahvat u riječnom koritu. 1 crpke, 2 dovodna cijev

nama i ostalim predmetima koje nosi rijeka, te od utjecaja plonidbe. Dubina vode na mjestu zahvata treba biti i za najnižeg vo-



a



b

Sl. 8. Vodozahvat u jezerima i akumulacijama; zahvat na tornju (a) i u tijelu brane (b). 1 zahvatni toranj, 2 pristupni most, 3 crpna stanica, 4 dovodna cijev ili tunel, 5 crpka, 6 usisna cijev

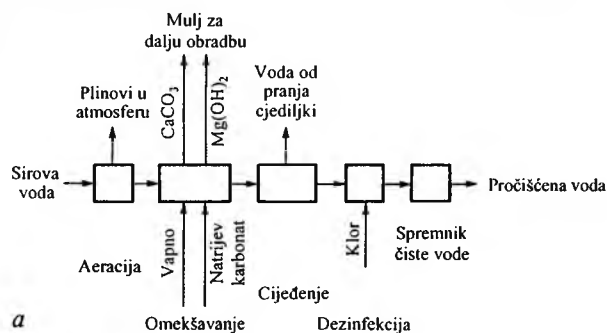
dostaja barem 1,0 m iznad ulaza u cjevovod. U jezerima i akumulacijama vodozahvat se ne postavlja ni u površinskom ni u pridnenom sloju. Ljeti se u površinskom sloju voda zagrijava, a zimi se može zalediti. U pridnenom sloju voda može biti mutna ili slabije kakvoće s obzirom na otopljene plinove i soli. Najpovoljnije mjesto za zahvat vode jest srednji sloj (termoklina), ako postoji stratifikacija vodenog stupca. Za zahvat vode u jezerima grade se objekti u obliku tornjeva, a u akumulacijama vodozahvat se obično nalazi u tijelu brane (sl. 8). U akumulacijama s promjenjivom razinom vodozahvat se može nalaziti na različitim dubinama.

Uređaji za čišćenje vode

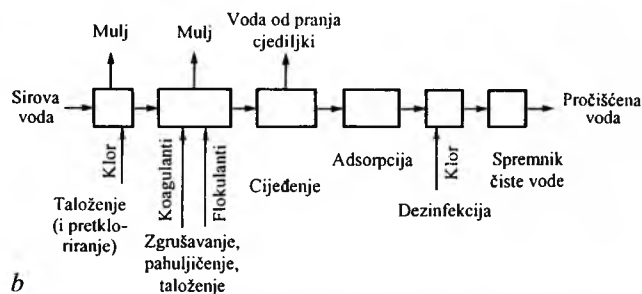
Čišćenje (kondicioniranje) prirodnih voda jest postupak kojim se voda čisti od otopljenih plinova, krutina i tekućina, te od živih organizama koji vodu čine nepodobnom za piće i ostale namjene. Istodobno to je i uklanjanje neugodnih mirisa, okusa i boje, te smanjenje tvrdoće i korozivnosti vode.

Voda se čisti fizikalnim, kemijskim i biološkim postupcima. Prirodne vode namijenjene vodoopskrbi nisu uvijek podobne za piće. Površinske vode uvijek sadrže plutajuće tvari (lišće, travu, papir, plastični predmeti, ulja, masti organskog i mineralnog podrijetla i sl.). Voda iz jezerâ i akumulacija može sadržavati planktone i alge. Podzemne vode, koje se obično smatraju čistim, sadrže ponekad veće količine otopljenog ugljičnog dioksida, sumporovodika, amonijaka, nitrata, iona željeza i mangana. Površinske i podzemne vode mogu također biti onečišćene otpadnim tvarima, posebno industrijskim, koje vodi daju neugodan okus i miris, a ponekad i opasnim tvarima u koncentracijama većim od prihvaćene rizične granice.

Površinske se vode moraju čistiti prije upotrebe za piće. Podzemne je vode ponekad dovoljno samo dezinficirati, ali je često potrebno i dodatno čišćenje. Već prema stupnju onečišćenja, primjenjuje se jedan ili više postupaka čišćenja (sl. 9). Ako se upotrebljava voda iz vodotoka, obično se grade spremnici tzv. *sirove vode*. Spremnici se grade zbog neravnomjernog dotjecanja vodotocima, te zbog mogućnosti povremenog većeg onečišćenja površinskih voda. U spremnicima se voda sama čisti i odumiru mikroorganizmi. Međutim, pri duljem zadržavanju vode, uz pogodne klimatske prilike, mogu se razviti planktoni i alge, što otežava dalje čišćenje vode.



a



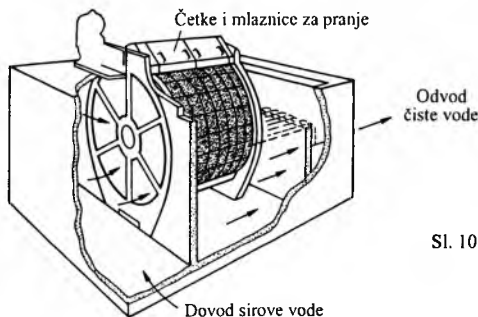
b

Sl. 9. Tipični postupci čišćenja podzemnih (a) i površinskih (b) voda za piće

Prethodno čišćenje vode. U svim se vodozahvatima na površinskim vodama primjenjuju rešetke kojima se uklanjaju krupne plutajuće tvari. Razmak između šipki u grubim je rešetaka

80·100 mm, a u finih 25·40 mm. Osim ručno, rešetke se čiste i automatski, već prema začepljenju među šipkama i porastu razine vode ispred rešetke.

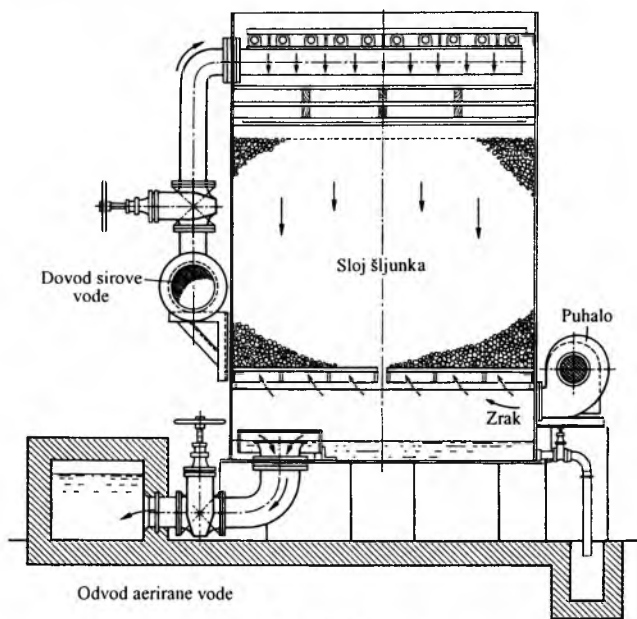
Mikrositima se uklanjaju alge i ostale sitnije čestice koje se ne zadržavaju na rešetkama. Mikrosita su bubnjevi od nehrđajućeg čelika s otvorima veličine 0,02·0,04 mm (sl. 10). Čiste se četkama i mlazom povratne vode s dijelom čiste vode. Za čišćenje mikrosita upotrebljava se procijeđena i dezinficirana voda. Mikrosita se najčešće primjenjuju u zahvatima iz jezerâ i akumulacijâ.



Sl. 10. Mikrosito

Pjeskolovi su taložnici kojima se iz vode uklanja pijesak i ostale čestice s gustoćom većom od vode. Dubina vode u pjeskolovu obično je 1,2·2,0 m, a horizontalna brzina vode 0,2 do 0,3 m/s.

Pretkloriranje je dodavanje klora vodi prije ostalih postupaka čišćenja. Klor djeluje kao oksidans, pa se tako u vodi oksidiraju ioni željeza i mangana, organske tvari, amonijak (prelazi u kloramine), nitriti (prelaze u nitrate) i mikroorganizmi (bakterije, alge, planktoni). Budući da prilikom dodavanja klora vodi koja sadrži organske tvari mogu nastati i nepoželjni organski spojevi klora, treba razmotriti mogućnost prethodne oksidacije klorom dioksidom ili ozonom, već prema udjelu organske tvari u vodi. Prednosti su prethodne oksidacije vode određena poboljšanja u postupku zgušnjavanja, te smanjenje okusa i mirisa vode. Smanjenjem količine algi i ostalih organizama produljuje se vrijeme rada cjediljki jer se one tada manje začepljuju.



Sl. 11. Kaskadni aerator

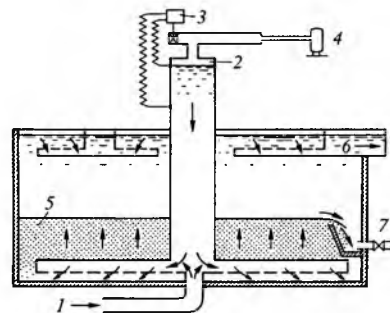
Aeracija se primjenjuje za uklanjanje viška sumporovodika koji vodi daje neugodan okus, zatim ugljičnog dioksida koji vodu čini korozivnom, te kisika u vodi koja je prezasićena kisikom. Višak kisika uzrokuje teškoće u ostalim postupcima čišćenja (u taložniku potiče isplivavanje pahuljica, a cjediljke začepljuje mjehurićima). Aeracijom se u vodu unosi kisik iz atmosfere da bi se oksidacijom iona željeza i mangana, nitrifikacijom amonijaka

i povećanjem količine otopljenog kisika poboljšao okus vode. Aeracija se provodi kaskadnim i površinskim aeratorima, rasprskivačima i ubrizgivačima (sl. 11).

Bistrenje vode. Bistrenje je uklanjanje suspenzija i koloida koji vodu čine mutnom. Pritom se primjenjuje jedan ili više postupaka (taloženje, zgrušavanje, pahuljičenje i cijedenje), već prema stupnju onečišćenja vode.

Taloženje (sedimentacija) jest uklanjanje krutina iz tekućina djelovanjem sile teže (v. *Sedimentacija*, TE12, str. 45). Prema naravi i relativnoj gustoći razlikuju se zrnate i pahuljicaste čestice (v. *Otpadne vode*, TE10, str. 76). Zrnate se čestice u vodi za piće pojavljuju u površinskim vodama, i to u vodozahvatima na razmjerno brzim vodotocima. Zbog toga se taloženje zrnatih čestica najčešće provodi kao prethodno čišćenje u pjeskolovima. U ostalim površinskim vodama i u izvorskoj vodi u kršu mutež čine mineralni koloidi, alge i sitne čestice organske tvari. Takve se čestice mogu iz vode sasvim ukloniti samo prethodnim zgrušavanjem i pahuljičenjem.

Za taloženje i odvajanje mulja upotrebljavaju se **taložnici**. Oni mogu biti statički ili dodirni (kontaktni). U statičkim se taložnicima brzina vode smanjuje, a mulj se skuplja na dnu i odvodi iz taložnika. Statički taložnici pravokutnog ili okruglog tlocrta upotrebljavaju se za čišćenje otpadnih voda, i to kao prethodni ili naknadni taložnici. U dodirnim se taložnicima odvojeni mulj ponovno vraća u vodu, što povećava koncentraciju pahuljica mulja, pa je i veća mogućnost dodira dviju ili više pahuljica i njihova spajanja u veću pahuljicu, koja se brže taloži. Dodirni se taložnici nazivaju i **ubrzani taložnici** (tzv. akceleratori), i oni se za čišćenje vode za piće češće primjenjuju (v. *Sedimentacija*, TE12, str. 50). Prema načinu dodira pahuljica s muljem razlikuju se taložnici s vraćanjem mulja i taložnici s muljnom zavjesom. U **taložniku s vraćanjem mulja** skuplja se mulj na dnu i vraća u zonu miješanja sa sirovom vodom, a dodaju se sredstva za zgrušavanje i pahuljičenje. U svim dijelovima taložnika treba spriječiti gomilanje mulja jer bi se neki od njih mogli začeptiti. **Taložnik s muljnom zavjesom** (pulsator) radi u dva koraka (sl. 12). U prvih 30·40 sekundi voda ulazi u vakuumsku komoru, gdje joj se razina diže 0,6·1,0 m iznad razine vode u taložniku. Nakon toga u komoru se pusti zrak, pa voda naglo ulazi u taložnik kroz muljnu zavjesu na dnu, gdje se ostvaruje dodir pahuljica s muljem. Učinak taloženja može se poboljšati ugradbom kosih ploča (**pločasti taložnik**). Već prema odabranom tipu taložnika i svojstvima vode, može se izbistriti 1,5·6,0 m³/(m²h) vode, a u taložnicima s muljnom zavjesom najviše 8 m³/(m²h).



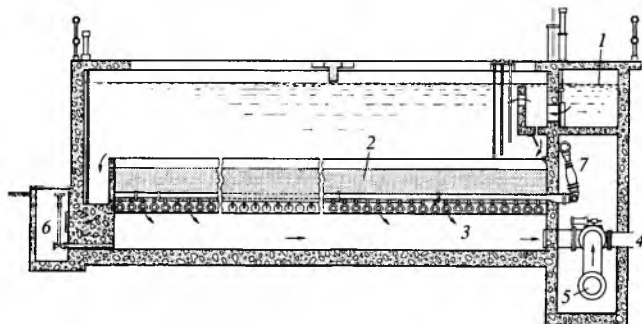
Sl. 12. Taložnik s muljnom zavjesom. 1 dovod sirove vode, 2 vakuumska komora, 3 ventil za zrak, 4 crpka, 5 muljna zavjesa, 6 odvod pročišćene vode, 7 odvod viška mulja

Zgrušavanje (koagulacija) kemijski je postupak kojim se iz vode uklanjaju tvari koje se u njoj nalaze u koloidnom stanju (v. *Koloidika*, TE7, str. 184). U prirodnim vodama najčešći su oni koloidi koji su stabilni zahvaljujući negativnom naboju koloidnih čestica. Koagulacija takvih ionskih koloida postiže se povećanjem koncentracije protuiona, tj. dodatkom sredstava koja ionizacijom daju ione s nabojem protivnim naboju koloidnih čestica. Kao koagulant najčešće se upotrebljavaju aluminijev i željezne soli. Najbolji učinak zgrušavanja aluminijevim sulfatom postiže se kad su vrijednosti pH 5,0·7,0, a željeznim(III) kloridom za vrijednosti manje od 4,5. Ponekad se kao koagulant upotrebljava željezni sulfat, koji je djelotvorniji pri većim vrijednostima pH. Već prema svojstvima vode, aluminijeva sulfata potrebno je 10·150 g/m³, željeznog klorida 5·150 g/m³ i željeznog sulfata 10·100 g/m³. Nakon dodavanja kemijskih sredstava vodu treba pomiješati s koagulantima. Učinak zgrušavanja ovisi o načinu

miješanja. Obično se primjenjuje mehaničko miješanje u trajanju 20...30 sekundi, a ponekad i hidrauličko.

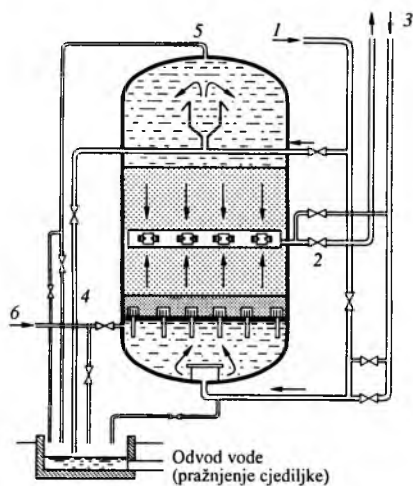
Pahuljičenje (flokulacija) jest spajanje raspršenih sitnih čestica u veće pahuljice koje se iz vode uklanjaju taloženjem i filtriranjem. Obično se primjenjuje mehaničko miješanje u trajanju 10...30 minuta. Pahuljičenje se poboljšava dodavanjem sredstava za pahuljičenje (flokulanti). Silika-gel (v. *Silicij*, TE12, str. 83) najstarije je sredstvo za pahuljičenje, a upotrebljavaju se i glina, aktivni ugljen, sitni pijesak, diatomеjska zemlja i zeoliti.

Cijeđenje (filtracija) uklanjanje je krutina iz vode propuštanjem vode kroz cjediljku (filtrar) (v. *Filtracija*, TE 5, str. 398). Za čišćenje vode za opskrbu naselja i industrije upotrebljavaju se dubinske cjediljke. Kako bi učinak cjediljke bio što povoljniji, izborom veličine zrnaca cjediljke i dubine sloja treba omogućiti procjeđivanje po dubini cjediljke. Danas se uglavnom upotrebljavaju brze cjediljke, s brzinom procjeđivanja 4...50 m/h. Prema pogonu brze su cjediljke gravitacijske, otvorene (sl. 13) ili tlačne, zatvorene. Kao ispunna cjediljke najčešće se upotrebljavaju kremeniti pijesak, a antracit ili mramor samo za posebne zahtjeve u industriji. Sloj cjediljke od kremenog pijeska najčešće je deo 0,6 do 0,75 m, veličina je zrna pijeska 0,45...0,55 mm, a brzina procjeđivanja 2,5...5,0 m/h. U dvoslojnim cjediljkama sloj je pijeska deo 0,15...0,4 m, a sloj antracita 0,3...0,6 m. Veličina je zrna pijeska 0,5...0,55 mm, a antracita 0,9...1,0 mm. Brzina procjeđivanja povećava se na 6...12 m/h. Izborom pogodnog materijala pojedinih slojeva u višeslojnim se cjediljkama može postići brzina procjeđivanja 10...20 m/h i više.



Sl. 13. Gravitacijska cjediljka. 1 dovod sirove vode, 2 ispunna, 3 procijeđena voda, 4 odvod čiste vode, 5 i 6 dovod i odvod vode za pranje, 7 dovod zraka

Prema smjeru procjeđivanja najčešće su cjediljke kojima voda prolazi odozgo naniže, ali ima ih i s prolaskom vode odozdo naviše i s dvosmjernim prolaskom (sl. 14). Nakon određenog vremena u cjediljki se nakupe nečistoće, smanji se poroznost i tlak, te produži trajanje cijeđenja. Sve to smanjuje učinak procjeđivanja, pa cjediljke treba povremeno čistiti protusmjernim mlazom vode i propuhivanjem zraka.



Sl. 14. Dvosmjerna cjediljka. 1 dovod sirove vode, 2 odvod procijeđene vode, 3 i 4 dovod i odvod vode za pranje, 5 odzračivanje, 6 dovod zraka

Omekšavanje vode. Omekšavanje vode uklanjanje je ili smanjivanje količine zemnoalkalijskih kationa, u prvom redu kalcijevih i magnezijevih, koji uzrokuju tvrdoću vode. Omekšavanje

se postiže kemijskom precipitacijom ili ionskom izmjenom (v. *Voda*).

Uklanjanje željeza i mangana. Ioni željeza i mangana uklanjaju se iz vode prevođenjem u netopljive spojeve (v. *Voda*).

Uklanjanje okusa i mirisa. Uklanjanjem okusa i mirisa voda postaje podobna za piće. Već prema podrijetlu okusa i mirisa u vodi, primjenjuje se aeracija, oksidacija i adsorpcija.

Aeracijom se iz vode uklanjaju plinovi koji joj daju neugodan miris (osobito sumporovodik) te hlapljivi ugljikovodici.

Oksidacija se provodi uobičajenim oksidacijskim sredstvima kao što su klor, klorni dioksid, kalijev permanganat i ozon. Klorom se mogu ukloniti neugodni mirisi sumporovodika, fenola i septički mirisi. Primjena klora može imati i negativnih posljedica zbog stvaranja klorfenola, koji je također neugodna okusa. Ako u vodi ima dušičnih spojeva, klor može uzrokovati i neugodan okus zbog stvaranja dušičnog triklorida. Klorni dioksid je osobito jako oksidacijsko sredstvo, a pogodan je za oksidaciju algi i fenola jer se ne stvaraju klorfenoli. Međutim, ne može se spriječiti stvaranje dušičnog triklorida. Ozon se kao vrlo djelotvoran oksidans upotrebljava za smanjenje okusa i mirisa koji nastaju ugibanjem algi, zatim septičkih mirisa, fenola i lako oksidirajućih onečišćivača organskog podrijetla.

Adsorpcija se često primjenjuje za čišćenje vode i poboljšanje okusa i mirisa (v. *Adsorpcija*, TE1, str. 1). Kao adsorbens upotrebljava se aktivni ugljen, a rjeđe glina ili silika-gel. Aktivni ugljen u prahu upotrebljava se kad se malim količinama (15...20 g/m³) može djelotvorno ukloniti miris i okus vode. Kad su potrebne veće količine, uzima se aktivni ugljen u zrnu. On se primjenjuje u obliku cjediljki s debljinom sloja 1,5...3 m. Brzina procjeđivanja iznosi 0,2...0,4 m/min, već prema veličini zrna. Aktivnim ugljenom uklanjaju se i neki organski spojevi (pesticidi, aromatski ugljikovodici i drugi).

Ostali postupci čišćenja. Voda može biti povremeno ili stalno onečišćena različitim tvarima koje ju čine nepodobnom za piće i ostale namjene.

Uklanjanje fluorida iz vode koja ih sadrži u koncentraciji većoj od 1,5 mg/L nužno je radi zaštite ljudskog zdravlja, te posebno radi sprečavanja oboljenja zubi. Pritom se primjenjuje kemijska precipitacija (pomoću kalcijeva i aluminijeva fosfata), adsorpcija na aktivnom ugljenu, inverzna osmoza i elektrodijaliza. Međutim, male su količine fluora (0,4...1,0 mg/L) korisne za zaštitu zubi, pa se fluor dodaje vodi koja ga ne sadrži.

Uklanjanje dušičnih spojeva obuhvaća čišćenje vode od amonijaka, nitrita i nitrata. Količina amonijaka može se smanjiti prethodnom aeracijom vode, ali prije pretkloriranja. Ako voda sadrži veće količine amonijaka, primjenjuje se nitrifikacija (oksidacija do nitrata), i to ili u spremnicima u kojima struji zrak, uz dodatak željeza i mangana, ili na cjediljkama preko sloja pucolana, uz mali dodatak fosfata. Nitriti se oksidiraju sredstvima poput klora ili ozona. Nitrati se mogu ukloniti biološkim postupkom (denitrifikacija) ili membranskim postupcima (reverzna osmoza, v. *Membrane*, TE 8, str. 381).

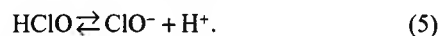
Odsoljavanje (odslanjivanje, desalinacija) smanjivanje je koncentracije ukupno otopljenih soli u vodi (v. *Voda*).

Dezinfekcija. Dezinfekcija je smanjivanje koncentracije štetnih mikroorganizama do granice koja nije opasna za ljude. Kao dezinfekcijsko sredstvo najčešće se upotrebljavaju klor, klorni dioksid i ozon, a ponekad ultraljubičasto zračenje, srebro, brom, kalijev permanganat, te iskuhavanje vode i izlaganje ultraljubičastom zračenju.

Klor s vodom u kojoj nema organskih tvari i amonijaka reagira tako da nastaje hipokloritna kiselina:



koja slabo disocira uz pojavu hipokloritnog iona:

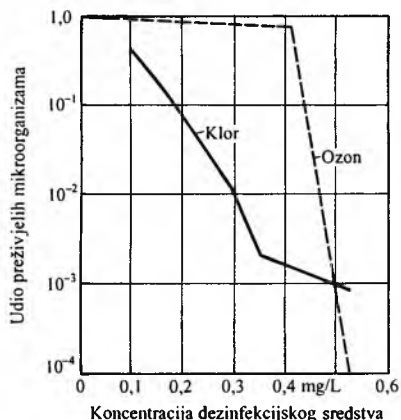


Hipokloritna kiselina i hipokloritni ion (v. *Klor*, TE7, str. 166) zajedno čine tzv. *slobodni raspoloživi klor*, koji je vrlo baktericidan. Međutim, ako voda koja se dezinficira sadrži amonijak, nastaju monokloramin, dikloramin i dušični triklorid, koji nisu baktericidni. Kako se amonijak često nalazi u prirodnim vodama, u

dezinfekciji klorom primjenjuje se metoda tzv. kritične točke. Vodi se dodaje klor u suvišku, koji nakon reakcije s amonijakom razgrađuje kloramine, pa u vodi ostaje samo slobodni klor. Učinak dezinfekcije klorom ovisi o temperaturi, vrijednosti pH i trajanju dezinfekcije. Snižanjem temperature smanjuje se učinak dezinfekcije. Hipokloritna kiselina jače je baktericidno sredstvo, pa je učinak dezinfekcije bolji pri nižoj vrijednosti pH. Da bi se voda za piće dezinficirala klorom, potrebno je barem 30 minuta, a uobičajena je količina klora $0,5 \cdot 2,0$ mg/L. Nakon dezinfekcije potrebno je u vodi zadržati ostatak klora u koncentraciji $0,1 \cdot 0,2$ mg/L zbog sigurnosti u vodovodnoj mreži.

Klorini dioksid, ClO_2 , nestabilan je plin koji se lako raspada na klor i kisik (v. *Klor*, TE 7, str. 166), ali je djelotvorno dezinfekcijsko sredstvo pri višim vrijednostima pH. On razara aromatski prsten fenola i kloriranih fenola, pa se tako sprečavaju neugodnosti kad se klorom dezinficira voda koja sadrži fenol. Klorini dioksid upotrebljava se i za oksidaciju organskih tvari, smanjenje količine željeza, mangana i boje. Prednost je klorinog dioksida kao dezinfekcijskog sredstva i u tome što ne reagira s amonijakom.

Ozon je nestabilan plin i vrlo jako oksidacijsko sredstvo (v. *Kisik*, TE 7, str. 127). Upotrebljava se za dezinfekciju, a istodobno poboljšava okus i smanjuje boju vode. Oksidira organske tvari, koje se zatim čišćenjem uklanjaju iz vode. Upotrebom ozona za dezinfekciju sprečavaju se neugodnosti zbog stvaranja kloriranih organskih spojeva u vodi koji se pojavljuju prilikom dezinfekcije klorom. Djelovanje je ozona u malim koncentracijama slabo, ali je vrlo djelotvorno iznad neke kritične koncentracije (sl. 15). Ako voda sadrži male količine organske tvari, uobičajeni su dodatci ozona $0,4 \cdot 1$ g/m³, a dezinfekcija traje $4 \cdot 6$ minuta. Za oksidaciju veće količine organskih tvari u vodi potrebne su veće količine ozona (do 5 g/m³ i više) i dulje vrijeme kontakta ($4 \cdot 12$ min). Budući da je ozon u vodi nestabilan, nakon dezinfekcije ozonom vodi se dodaje mala količina stabilnog sredstva za dezinfekciju (klor, klorini dioksid), kako bi se osigurala prisutnost dezinfekcijskog sredstva u vodovodnoj mreži.



Sl. 15. Usporedba dezinfekcijskog učinka klora i ozona

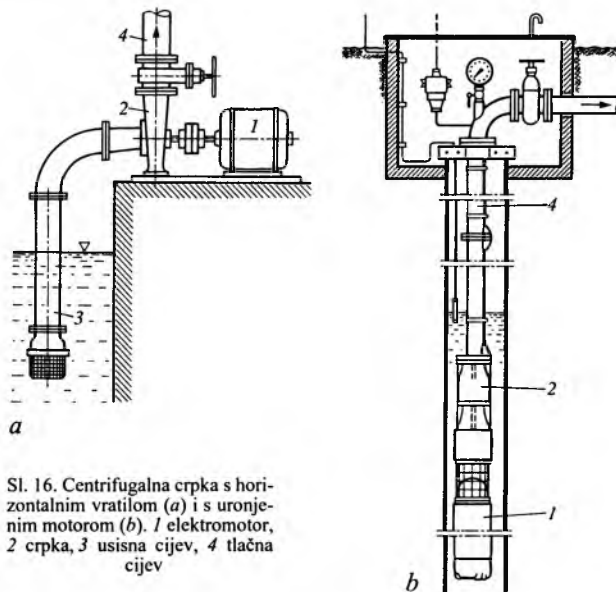
Obradba i ispuštanje mulja prilikom čišćenja vode. Mulj je koncentrirani otpad uklonjen čišćenjem vode. Prema primijenjenim postupcima čišćenja vode razlikuje se mulj bez kemikalija i mulj koji sadrži dodane kemikalije. Mulj bez kemikalija potječe s mikrosita, pjeskolova i taložnika, te sa cjediljki za vode vrlo malene mutnoće. Takav se mulj može bez obradbe ispuštati u okoliš i vodene tokove. Mulj s kemikalijama potječe od zgrušavanja, pahuljičenja, omeškavanja i ostalih postupaka gdje se dodaju kemijski reagensi. Takav se mulj može ispuštati u kanalizaciju ako kemijski reagens ne utječe na rad uređaja za čišćenje otpadne vode ili na održavanje kanalizacijskih objekata. Druga je mogućnost ispuštanje mulja na sanitarna odlagališta ili posebne lagune, gdje će trajno ostati.

Nakon bistrenja vode mulj sadrži $0,1 \cdot 0,2\%$ čvrste tvari, a nakon omeškavanja $3 \cdot 6\%$. Da bi se smanjili troškovi prijevoza i konačnog ispuštanja, treba ukloniti dio vode iz mulja. To se postiže zgušnjavanjem mulja, te centrifugiranjem ili cijeđenjem površinskim cjediljkama pod tlakom, ili na poljima za cijeđenje mulja. Tim je postupcima moguće postići koncentraciju čvrste tvari u mulju od $20 \cdot 40\%$, a u mulju iz postupka omeškavanja vapnom i do 60% . U velikim uređajima za zgrušavanje uz primje-

nu aluminijeva sulfata mulj se vodi na regeneraciju i izdvajanje upotrijebljenih kemikalija. Moguća je i ponovna upotreba vapna, i to nakon žarenja mulja na temperaturi $900 \cdot 1200^\circ\text{C}$. Ponovnom upotrebom kemikalija štede se primarne sirovine, a istodobno se smanjuje količina mulja koja se odlaze u okoliš.

Crpne stanice

Crpne stanice su objekti vodoopskrbnog sustava kojima se voda diže od izvorišta do vodovodne mreže, vodospreme ili do uređaja za čišćenje, ili kojima se podiže energetska razina vode u vodovodnu sustavu. Crpka (pumpa) odabire se prema namjeni crpne stanice, količini vode i ukupnoj energetskoj visini dizanja (v. *Pumpe*, TE 11, str. 307).



Sl. 16. Centrifugalna crpka s horizontalnim vratilom (a) i s uronjenim motorom (b). 1. elektromotor, 2. crpka, 3. usisna cijev, 4. tlačna cijev

Najčešće se upotrebljavaju radijalne (centrifugalne) ili aksijalne crpke. **Radijalne crpke** upotrebljavaju se za veće visine dizanja, s kapacitetom $6 \cdot 40$ 000 m³/h. Grade se kao jednostupanjnske i višestupanjnske (do 12 i više stupnjeva). Prema položaju razine vode u crpilištu, upotrebljavaju se crpke s horizontalnim ili s vertikalnim vratilom te posebne izvedbe s uronjenim motorom za duboke zdence (sl. 16). **Aksijalne crpke** s malom visinom dizanja ($1,5 \cdot 10$ m), kapaciteta do 40 000 m³/h, upotrebljavaju se za dovođenje površinskih voda u uređaj za čišćenje ili u spremnik sirove vode. Pogonski je motor neposredno priključen na vratilo radnog kola crpke. Snaga pogonskog motora može biti od nekoliko kilovata do 75 MW za vrlo velike crpke. Za pogon crpki najčešće služe izmjenični elektromotori (trofazni asinkroni), a u posljednje vrijeme i istosmjerni elektromotori s tiristorskom regulacijom.

Dva su moguća načina rada crpnih stanica koje se nalaze neposredno pred potrošnim mjestom:

a) Crpke potiskuju vodu do vodospreme, a dalje se voda transportira djelovanjem sile teže. Potrebna je crpka s malim promjenama u visini dizanja. U malim vodoopskrbnim sustavima crpke rade $8 \cdot 12$ sati dnevno, obično onda kad je niža cijena energije. U većim sustavima crpke rade cijeli dan.

b) Crpke potiskuju vodu u vodovodnu mrežu; vodosprema se puni kad je potrošnja malena, a kad je maksimalna, upotrebljava se voda iz vodospreme i crpne stanice. Potrebne su crpke s promjenjivom visinom dizanja, i to u skladu s promjenom energetske linije prema potrošnji vode.

Male crpne stanice, kojima je dovoljna jedna radna crpka, moraju imati pričuvnu crpku. Veće crpne stanice imaju više crpki, a pojedinačni kapacitet ovisi o potrošnji vode, odnosno kolebanju razine vode u vodospremi. Ovisnost visine dizanja o količini do-bave crpke određena je radnom karakteristikom crpke u većem ili manjem rasponu, što omogućuje rad s različitim količinama uz pripadne visine dizanja. Radna točka crpke ovisi o svojstvima tlačnog cjevovoda i ukupnim hidrauličkim gubicima tlačnog su-

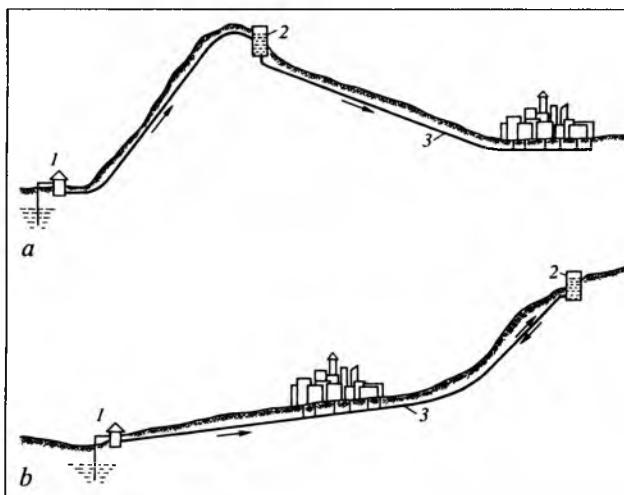
stava. U crpnim stanicama s više crpki priključenih paralelno na tlačni cjevovod moguće je prema potrebi mijenjati količinu vode.

Precrpe stanice poseban su tip crpnih stanica, a grade se da bi se povisio tlak vode u razvodnoj mreži, povećao dotok na cjevovodu, te da bi se, neovisno o protoku, održala visina tlaka u vodovodnoj mreži. Najčešće se primjenjuju za povišenje tlaka u vodovodnoj mreži kad je potrošnja u razvodnoj mreži povećana. Tada nije potreban drugi glavni dovod kojim bi se podigla energetska razina u razvodnoj mreži. Primjenom precrpne stanice istodobno se povećava i protok vode u glavnom dovodu. Precrpe stanice rade povremeno, prema veličini potrošnje u razvodnoj mreži. U crpne se stanice ugrađuju uređaji za zaštitu crpki od vodenog udara (v. *Mehanika fluida*, TE 8, str. 157).

Vodospreme

Vodospreme su građevine (objekti) gdje se zadržava voda za planiranu upotrebu. Vodospreme se upotrebljavaju za dnevno izravnavanje potrošnje vode u vodovodnoj mreži, za zadržavanje pričuvnih količina vode za višednevnu opskrbu, te za čuvanje vode za gašenje požara. Prema položaju u vodoopskrbnom sustavu vodospreme mogu biti visoke i niske, a prema načinu gradnje razlikuju se ukopane vodospreme i vodotornjevi.

Visoke vodospreme za dnevno izravnavanje potrošnje najčešće se primjenjuju. Smještaj vodospreme ispred ili iza razvodne mreže ovisi u prvom redu o topografskim prilikama i položaju vodozahvata prema potrošnoj mjestu (sl. 17). Ako se vodosprema nalazi iza razvodne mreže, za vrijeme maksimalne potrošnje mreža može istodobno primati vodu izravno iz crpne stanice i iz vodospreme. Kad terenske prilike ne omogućuju gradnju ukopane vodospreme, postavlja se vodotoranj. On se najčešće nalazi neposredno iza dijelova mreže s velikom potrošnjom.



Sl. 17. Položaj vodospreme ispred (a) i iza vodovodne mreže (b). 1 crpna stanica, 2 vodosprema, 3 opskrbni cjevovod

Obujam prostora za vodu za dnevno izravnavanje potrošnje ovisi o dnevnim, odnosno satnim kolebanjima potrošnje u vodovodnoj mreži, te o vremenu dotoka u vodospremu. Dotok vode u gravitacijske glavne dovodne cjevovode mora biti stalan (24 sata dnevno). Međutim, ako u sustavu postoje crpne stanice, voda može, već prema veličini naselja, raspoloživim količinama i energetske bilanci, dotjecati u vodospremu i u vremenu kraćem od 24 sata dnevno. Potreban obujam vodospreme razlika je između obujma vode koja dotječe i obujma potrošene vode za vrijeme izravnavanja. Kad je dotjecanje vode u vodospremu stalno, za dnevno je izravnavanje potreban obujam u iznosu od 15·20% od dnevne potrošene količine vode, a za dnevno dotjecanje u trajanju od 12 sati potreban je obujam u iznosu od 30·50% od dnevne potrošene količine vode. Obujmu za dnevno izravnavanje treba dodati i potreban obujam vode za gašenje požara. Osim toga, zbog mogućih nezgoda i za nužne popravke na vodovodu, već prema gospodarskim prilikama, treba osigurati još 25%-tni pričuveni višak vode.

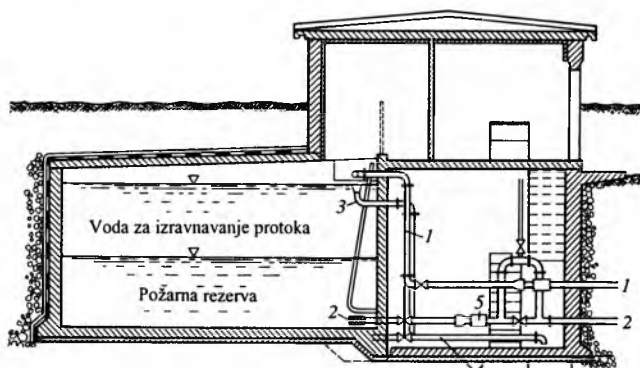
U regionalnim vodoopskrbnim sustavima visoke se vodospreme često upotrebljavaju i za regulaciju tlaka u glavnom dovod-

nom cjevovodu. S obzirom na važnost regionalnih sustava, obujam vodospreme obično se dimensionira za višednevno izravnavanje (najčešće trodnevno). Te vodospreme imaju i pričuvu za eventualni prekid dovoda vode. Pričuva ovisi o važnosti sustava i gospodarskim prilikama. U nekim se zemljama računa s pričuvom u iznosu petodnevne količine vode potrebne pri maksimalnoj potrošnji.

Niske vodospreme upotrebljavaju se kao crpni spremnici u crpnim stanicama, kao spremnici pročišćene vode na uređajima za čišćenje, te kao dugoročna pričuva na vodozahvatima. Na zahvatima površinskih voda ponekad su nužni spremnici za godišnje, pa čak i višegodišnje izravnavanje. Osim za izravnavanje u hidrološkom pogledu, na zahvatima površinskih voda grade se i spremnici za pričuvu vode ako bi se iznenadno izvor jače onečistio.

Niske se vodospreme grade kao zatvorene ili otvorene. Spremnici pročišćene vode uvijek su zatvoreni, a takvi su najčešće i spremnici u crpnim stanicama. Otvoreni su spremnici za godišnje izravnavanje i pričuvu. Posebna su vrsta spremnika prirodni podzemni spremnici. Kad su hidrogeološke prilike povoljne, pričuvene se količine vode upuštaju u podzemlje da bi se povećala zaliha podzemne vode. Prednosti su prirodnih podzemnih spremnika manji troškovi gradnje, mogućnost održavanja povoljne temperature vode, smanjeni gubici zbog isparivanja, te bolja zaštita od onečišćenja.

Ukopane vodospreme građevine su koje se potpuno ili većim dijelom nalaze ispod površine zemljišta (sl. 18). Grade se od nearmiranog, armiranog ili prednapregnutog betona, a sastoje se od spremnika za vodu i zasunske prostorije. Tlocrt spremnika najčešće je kružan ili pravokutan. Male vodospreme, obujma do 200 m³, najčešće su pravokutnog tlocrta. Obično se sastoje od dva dijela, osim vrlo malih vodosprema. Veće su vodospreme kružnog tlocrta.

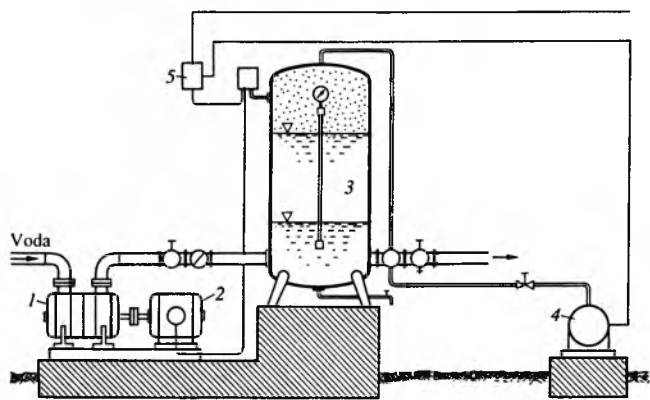


Sl. 18. Ukopana vodosprema. 1 dovod, 2 odvod vode u mrežu, 3 preliv, 4 pražnjenje, 5 vodomjer

Dubina vode utječe na ukupne troškove gradnje. Za manje dubine potrebna je veća ukupna površina koju zajedno čine dno i zidovi spremnika. U spremniku obujma do 3 500 m³ uobičajena je dubina 2,5·3,5 m, za obujam 3 500·15 000 m³ dubina je 3,5·5,0 m, a za obujam veći od 15 000 m³ dubina je 5,0·7,0 m. Dubina može biti i veća ako se gradi s prednapregnutim betonom.

Vodotornjevi su građevine s vodospremom na nosivoj konstrukciji (v. *Tornjevi i toranjske zgrade*). Zasunska se prostorija nalazi ispod spremnika za vodu. Visina je nosive konstrukcije 20·30 m, a dubina je vode u spremniku 5,0·7,0 m. Vodotornjevi se grade od armiranog betona, prednapregnutog betona i čelika. Kako su istaknuti objekti u naselju, oblikuju se s posebnom pozornosti.

Hidrofor je uređaj za povišenje tlaka u vodovodnoj mreži. Primjenjuje se u opskrbi vodom viših katova zgrada kada tlak u vodovodnoj mreži nije dovoljan za normalnu opskrbu. To se često događa u visokim objektima u naselju s regulacijom tlaka vodotornjevima. Hidrofor se sastoji od crpke, tlačnog spremnika za vodu, kompresora za zrak i dijela za automatsku regulaciju tlaka u spremniku (sl. 19). Crpkom se voda tlačí u zatvoreni spremnik, pa se smanjuje obujam, a povećava tlak zraka u spremniku. Tada je i voda u spremniku pod većim tlakom i može se razvoditi na više dijelove vodovodne mreže. Povremeno se u spremniku kompresorom nadoknađuje zrak koji se gubi otapanjem u vodi.

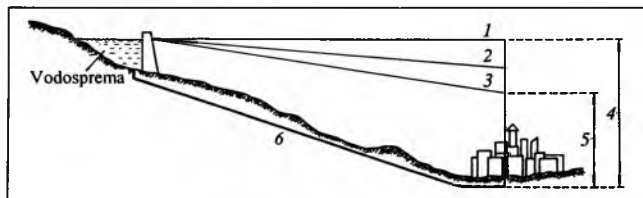


Sl. 19. Hidrofor. 1 crpka, 2 elektromotor, 3 tlačni spremnik, 4 kompresor, 5 uređaj za automatsko ukopčavanje

Glavni dovodni cjevovodi

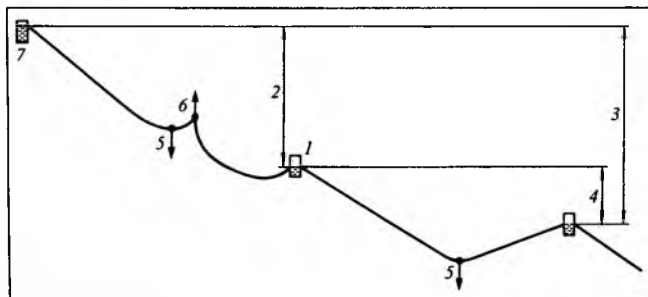
Glavni dovodni cjevovodi građevine su kojima se voda provodi od izvorišta do korisnika. Ponekad se umjesto cjevovoda upotrebljavaju otvoreni kanali, najčešće trapeznog oblika, i to samo za dovođenje sirove vode od izvorišta do uređaja za čišćenje.

Glavnim dovodnim cjevovodima, koji mogu biti gravitacijski ili tlačni, provodi se sirova ili čista voda, već prema položaju uređaja za čišćenje vode. U regionalnim vodoopskrbnim sustavima glavni dovod može biti vrlo dug (i nekoliko desetaka kilometara). U gravitacijskom zatvorenom cjevovodu tlak na određenom mjestu u cjevovodu ovisi o visinskoj razlici između najviše, početne točke cjevovoda i tog mjesta te o gubitku tlaka zbog otpora trenja prema potrošnji vode u cjevovodu. Kada ne bi bilo potrošnje, tlak bi u pojedinoj točki bio maksimalan (hidrostatski), jer bi ovisio samo o visinskoj razlici. Porastom potrošnje vode tlak se smanjuje, što se prikazuje hidrauličkom *gradijentnom linijom* (sl. 20).



Sl. 20. Tlak u cjevovodu. 1 linija hidrostatskog tlaka (kad nema potrošnje), 2 hidraulička gradijentna linija pri srednjoj potrošnji, 3 isto pri maksimalnoj potrošnji, 4 maksimalni (hidrostatski) tlak, 5 minimalni tlak, 6 opskrbni cjevovod

Već prema topografskim prilikama, na glavnom se dovodnom cjevovodu (sl. 21) postavljaju uređaji za pogon i održavanje: spremnici za prekid tlaka, crpne stanice za povećanje tlaka, zasuni, odušci (zračni ventili), muljni ispusti, povratni zatvarači, visinski zatvarači, brzinski zatvarači i vodomjeri. Spremnik za prekid tlaka potreban je u cjevovodima s velikom visinskom razlikom, jer bi inače u njihovu donjem dijelu hidrostatski tlak bio vrlo velik. Ugradbom takva spremnika smanjuje se hidrostatski



Sl. 21. Glavni dovodni cjevovod. 1 spremnik za prekid tlaka, 2 postignuto smanjenje tlaka, 3 maksimalni tlak prije ugradbe spremnika, 4 maksimalni tlak nakon ugradbe spremnika, 5 muljni ispust, 6 odušak, 7 akumulacija

tlak u cjevovodu, pa se mogu upotrijebiti cijevi s tanjom stijenkom. Ti spremnici mogu istodobno biti i pričuvne vodospreme koje omogućuju rad sustava prilikom manjih popravaka na uzvodnim dijelovima cjevovoda. Zasunima se prekida tečenje vode onim dijelovima cjevovoda koji se popravljaju ili čiste. Dok se cjevovod puni, odušcima se automatski ispušta zrak u najvišim dijelovima cjevovoda i sprečava stvaranje zračnih jastuka koji bi smanjili protok vode. Muljni ispusti služe za ispuštanje vode iz dijelova cjevovoda koji se popravljaju ili čiste. Povratni zatvarač sprečava tečenje vode u suprotnom smjeru kad se tlačni cjevovod prekine na uzvodnom dijelu. Visinski zatvarač automatski zatvara dovod vode u vodospremu prije dizanja razine vode do preljeva. Brzinski zatvarač automatski zatvara cjevovod kad se poveća brzina tečenja vode, što može nastati zbog oštećenja cijevi. Vodomjerom se kontrolira količina vode koja protječe cjevovodom, najčešće radi obračuna, ali i radi mjerenja gubitaka vode u cjevovodu, te utvrđivanja kvarova.

Cjevovodi su najčešće kružnog ili potkovastog presjeka. Kružni je presjek hidraulički najpovoljniji, jer je tada uz jednaku površinu omočeni opseg najmanji, a i konstruktivno je najpovoljniji s obzirom na unutrašnje i vanjske tlačne sile.

Dimenzioniranje cjevovoda. Tlačni gubici u cjevovodu ovisе o otporu trenja zbog strujanja i o brzini protjecanja vode. Ta se ovisnost najbolje izražava Darcy-Weisbachovom jednadžbom:

$$h_t = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (6)$$

gdje je h_t visina pada tlaka, λ koeficijent otpora trenja prema Moodyjevu dijagramu (v. *Mehanika fluida*, TE 8, str. 170), L duljina dionice cjevovoda, D unutrašnji promjer cjevovoda, v brzina protjecanja vode u cjevovodu, a g ubrzanje sile teže. Za proračun koeficijenta otpora trenja danas se najčešće primjenjuje Colebrookova jednadžba:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,52}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71D} \right), \quad (7)$$

gdje je Re Reynoldsov broj, a k visina hrapavosti stijenke cjevovoda. Jednadžba vrijedi za područje od hidraulički glatkog do potpuno hrapavog režima strujanja. Hrapavost stijenke ovisi o vrsti materijala i o stanju unutrašnjih površina, tj. o tome koliko se na stijenci istaložilo karbonata i drugih tvari. Za materijale od kojih se obično izrađuju nove cijevi vrijednosti k iznose 0,01 do 0,12 mm. Brzina strujanja vode u cjevovodu ovisi o kakvoći vode (sirova ili pročišćena voda) te o materijalu cjevovoda. Kad nepročišćena voda sadrži fini pijesak i praš u malim količinama, taloženje će se spriječiti ako je najmanja brzina tečenja 0,6 do 0,75 m/s. Pročišćena voda nema ograničenu minimalnu brzinu. Maksimalna brzina ograničena je za nepročišćenu vodu da bi se spriječilo habanje cijevi, a za pročišćenu i čistu vodu da bi se spriječilo vrlo jako strujanje i smanjila opasnost od vodenog udara pri brzom zatvaranju zasuna. Najveće su brzine tečenja u cijevima od uobičajenih materijala 3,0...6,0 m/s, a uobičajene su brzine 1,2...1,8 m/s. Izbor brzine tečenja ovisi i o promjeru poprečnog presjeka cjevovoda. O tome ovisе i godišnji troškovi održavanja i pogona (uključujući i troškove energije za crpljenje vode), pa brzinu tečenja treba izabrati na osnovi gospodarskih procjena.

Materijal za cjevovod mora zadovoljiti s obzirom na kapacitet protjecanja, čvrstoću, trajnost, sigurnost, vodenopropusnost, jednostavnost prijevoza i ugradbe, troškove gradnje i troškove održavanja. Najčešće se primjenjuje beton, armirani beton, željezo, čelik, azbestcement, poli(vinil-klorid), polietilen i poliester.

Kapacitet protjecanja ovisi o hrapavosti stijenki cjevovoda te o otpornosti materijala prema agresivnom djelovanju vode. Cijevi od čelika i polimernih materijala male su hrapavosti. Metalne i betonske cijevi potrebno je zaštititi od djelovanja agresivnih voda. **Čvrstoća** materijala za cjevovode provjerava se prema unutrašnjim i vanjskim silama koje djeluju na stabilnost cjevovoda. **Trajnost** cjevovoda ovisi o otpornosti materijala prema korozivnom djelovanju vode, ali i zemljišta u kojem je vodovod položen, te o debljini stijenki i zaštitnim mjerama. Vodovodni sustavi grade se za razdoblje od 50 i više godina, pa trajnost cijelog

sustava ovisi o izboru materijala. Sigurnost cjevovoda, osim o čvrstoći i trajnosti materijala, ovisi o otpornosti materijala prema naglom povećanju tlaka, o stvaranju vakuuma, te o mehaničkim oštećenjima. Čelične cijevi otporne su na povećanje tlaka, ali ne i na stvaranje vakuuma koji može nastati pri brzom pražnjenju cjevovoda. Željezne i azbestcementne cijevi osjetljivije su na mehanička oštećenja. Cjevovodi moraju biti vodonepropusni kako bi se smanjili gubici vode, te spriječilo procjeđivanje vode u cjevovod kad se smanji tlak u cijevima. Osjetljiva su mjesta spojevi među cijevima. Cijevi koje se spajaju zavarivanjem (čelične i polietilenske) praktično su vodonepropusne. Prijevoz i ugradba cijevi ovisi o načinu izvedbe. Kad se cjevovod gradi od gotovih cijevnih komada, prijevoz i ugradba ovisi o promjeru cijevi. Ako su cijevi velikog promjera, troškovi prijevoza mogu znatno utjecati na ukupne troškove izgradnje cjevovoda.

Vodovodne mreže

Vodovodna je mreža skup cijevi na koje su izravno priključeni korisnici. Vodovodnim mrežama mora se osigurati neprekidan dotok dovoljnih količina vode do svih korisnika, uključujući i vodu za gašenje požara.

Prema veličini naselja vodovodne se mreže oblikuju kao razgranate i prstenaste (zatvorene). Razgranate mreže grade se u manjim naseljima. Prednosti su takvih mreža jednostavnost i manji troškovi izvedbe, a nedostaci prekid opskrbe vodom svih korisnika koji se nalaze iza mjesta gdje se prekida protok u cijevi, te dulje zadržavanje vode u cijevima na krajnjim točkama mreže kad je potrošnja malena. Prstenaste mreže primjenjuju se u većim naseljima. Budući da voda do svakog korisnika može dotjecati s dvije strane, uklonjeni su svi nedostaci razgranate mreže. Zbog većeg broja cjevovoda mreža je skuplja, ali je sigurnost opskrbe vodom mnogo veća.

Tlak vode u mreži obično iznosi 4...6 bar. Veći tlakovi, osim što smanjuju trajnost kućnih uređaja i instalacija, povećavaju i gubitke vode iz mreže. Manji tlakovi (4 bar) primjenjuju se za naselja s pretežno niskom izgradnjom, te za vodu za gašenje požara uz dodatne crpke. U naseljima gdje topografske prilike ne omogućuju održavanje tlaka u prihvatljivim granicama vodovodna se mreža dijeli u više posebnih mreža prema visinskim zonama. Ako je vodovodna mreža podijeljena na zone, za dizanje vode troši se manje energije. Naime, u jedinstvenoj bi se mreži čitava masa vode m trebala dizati na konačnu visinu H , za što je potrebna sila F (sl. 22), pa je energija

$$E = F H. \quad (8)$$

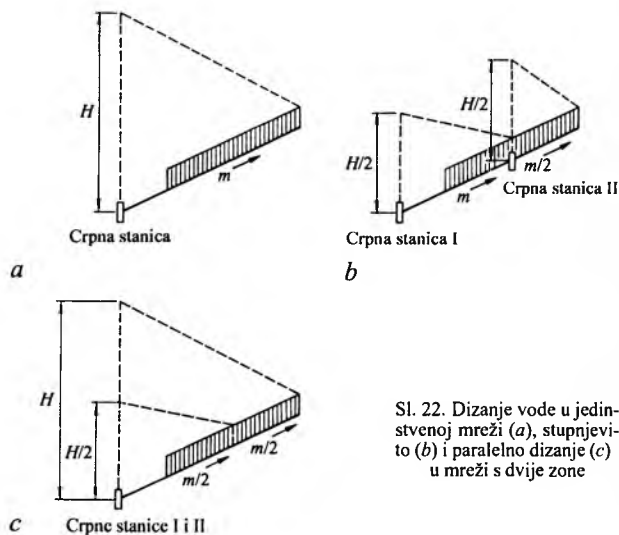
U stupnjevitom radu, npr. u mreži s dvije zone, prvo se čitava masa vode diže na polovicu ukupne visine, a zatim polovica mase do konačne visine:

$$E_1 = F \frac{H}{2} + \frac{F}{2} \cdot \frac{H}{2} = \frac{3}{4} F H. \quad (9)$$

U paralelnom radu istodobno se diže jedna polovica mase do polovice visine, a druga polovica mase na čitavu visinu:

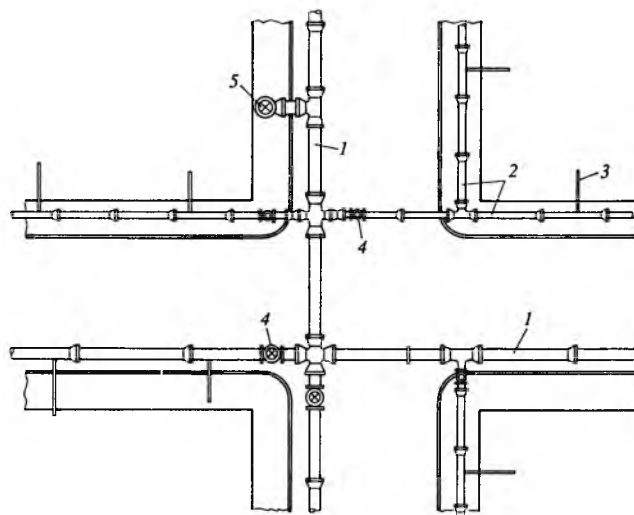
$$E_2 = \frac{F}{2} \cdot \frac{H}{2} + \frac{F}{2} H = \frac{3}{4} F H. \quad (10)$$

Materijal za cijevi vodovodnih mreža mora zadovoljiti iste opće uvjete kao i onaj za cijevi glavnih dovodnih cjevovoda. Poseban je uvjet podobnost za izvedbu više priključaka, odvojaka i križanja. U vodovodnoj mreži najčešće se primjenjuju željezne i azbestcementne cijevi te cijevi od poli(vinil-klorida). Za veće su promjere prikladne željezne i čelične cijevi, a za manje se promjere, osim cijevi od poli(vinil-klorida), upotrebljavaju i polietilenske cijevi. Izbor cijevi posebno ovisi o mogućnosti prijevoza, odnosno o udaljenosti tvornice cijevi, a u posebnim prilikama i o vrsti zemljišta. Eventualne agresivne podzemne vode također mogu utjecati na izbor cijevnog materijala. Cijevi se dimenzioniraju prema jednadžbama (6) i (7). Najmanji je promjer cijevi 100 mm. Za dimenzioniranje dionica mreže mjerodavna je maksimalna satna potrošnja za određeni broj korisnika. Na krajevima dionica razgranate mreže proračunska količina vode ne smije biti manja od količine koja je potrebna za gašenje požara (tabl. 6).



Sl. 22. Dizanje vode u jedinstvenoj mreži (a), stupnjevitom (b) i paralelnom dizanju (c) u mreži s dvije zone

Prema svojoj veličini, odnosno prema količini vode koju proizvode, te općenito prema važnosti za opskrbu naselja, cjevovodi se dijele na opskrbenne (magistralne) i razvodne (distributivne). Opskrbeni cjevovodi oblikuju zatvorene prstenove, a presijecaju se na razmaku 1000...1500 m. Unutar zatvorenih prstenova postavljaju se razvodni cjevovodi za razvod vode do korisnika. Maksimalna udaljenost između presjecišta s drugim cjevovodom treba iznositi 180...200 m. Brzina tečenja u svim je cjevovodima obično 1,0...2,0 m/s. Veće se brzine pojavljuju prilikom maksimalne potrošnje ili gašenja požara. Cjevovodi se ukopavaju ispod kolnika, uz rubnjak ili ispod pločnika, te ispod zelenih površina. U područjima s oštrom klimom cjevovodi se postavljaju uz sjevernu i istočnu stranu ulice da bi se smanjila mogućnost zamrzavanja. Na prometnicama širim od 25 m ponekad je jeftinije postaviti cjevovode s obje strane ulice; obično je jedan cjevovod opskrbeni, a drugi razvodni (sl. 23). Dubina ukopavanja cjevovoda ovisi o dubini zamrzavanja zemljišta te o prometnom opterećenju iznad cjevovoda. U hladnijim predjelima ona iznosi 1,2...1,5 m iznad tjemena cijevi. U toplijim predjelima najmanja dubina ukopavanja, osim o prometnom opterećenju, ovisi i o mogućem zagrijavanju cijevi preko tla, pa najčešće iznosi 0,5 m iznad tjemena cijevi.

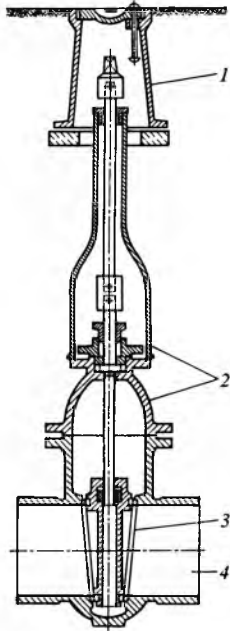


Sl. 23. Ugradba cjevovoda s obje strane ulice. 1 opskrbeni cjevovod, 2 razvodni cjevovod, 3 kućni priključak, 4 zasun, 5 hidrant

Cjevovodi se na raskrižjima i odvojcima međusobno spajaju oblikovnim dijelovima. Oni se izrađuju od željeza ili čelika i omogućuju mijenjanje smjera, promjera i vrste cijevi, te presijecanje i odvajanje cjevovoda.

Zasuni su uređaji kojima se otvara ili zatvara ulaz vode u cjevovod ili u dio cjevovoda. Upotrebljavaju se za isključivanje cjevovoda zbog kvara te radi zamjene ili popravka cijevi. Zasuni

se uvijek nalaze na uličnim raskrižjima. Da bi se smanjili troškovi ugradbe zasuna, obično se na raskrižjima postavljaju tri zasuna, a na uličnim odvojcima dva zasuna. Pojedinačni se zasun ugrađuje u tzv. *ugradbenu garnituru*, zaštitno kućište od površine tla do cjevovoda (sl. 24). Za ugradbu dvaju ili više zasuna u jednom čvoru gradi se *zasunsko okno*, koje omogućuje pristup dijelovima cjevovoda sa zasunima. Na mjestima grananja i promjene pravca cjevovoda postavljaju se okna sa sidrenim betonskim blokovima. Oni nemogućuju pomicanje cijevi pri tlačnom udaru koji nastaje zatvaranjem zasuna.



Sl. 24. Ugradba pojedinačnog zasuna. 1 ulična kapa, 2 ugradbena garnitura, 3 zasun, 4 cjevovod

Vodovodna mreža mora imati *požarne hidrante* (v. *Vatrogasni i protupožarni uređaji*). To su podzemni ili nadzemni uređaji koji u prvom redu služe za priključivanje vatrogasnih cijevi ili cisterni, ali i za opskrbu vodom prilikom pranja prometnica, za pražnjenje cjevovoda, ispuštanje zraka i ispiranje vodovodne mreže. Ugrađuju se na razvodne cjevovode. Međusobna udaljenost hidranata ovisi o lokalnim prilikama, ali se uzima u obzir da je gašenje požara vatrogasnim cijevima s jednog hidranta djelotvorno u krugu polumjera do 60 m.

Kućni vodovod

Kućni vodovod (kućna vodovodna mreža) dio je vodoopskrbnog sustava od kućnog priključka do potrošnog mjesta. On je kućnim priključkom spojen s razvodnim cjevovodom, ili izravno s opskrbnim cjevovodom. Na kućnom priključku nalazi se glavni zasun i vodomjer.

Kućna vodovodna mreža sastoji se od horizontalnih i vertikalnih glavnih vodova, te razdjelnih vodova na katovima, na koje su priključene skupine potrošnih mjesta (trošila). Glavni horizontalni vod dio je kućne mreže od vodomjera do vertikalnih glavnih vodova. Na priključku vertikalnih i glavnih horizontalnih vodova nalaze se zasuni kako bi se bez isključivanja cijelog objekta mogli obavljati popravci na pojedinim dijelovima vodovoda. Na svakom vertikalnom vodu potreban je zasun, ventil koji će omogućiti njegovo pražnjenje i pražnjenje pripadnih razdjelnih vodova. Kućni požarni hidranti imaju svoje posebne vertikalne vodove. Ispred svakog potrošnog mjesta nalazi se zasun radi mogućnosti popravka. Cijevi za kućne vodovode mogu biti od željeza, čelika (pocinčane) i polimernih materijala, npr. poli(vinil-klorida) ili polietilena.

Cjevovod kućnog vodovoda dimenzionira se na osnovi proračuna količine i brzine vode u cijevima, te na osnovi gubitaka tlaka. Potrebna količina vode računa se prema broju potrošnih mjesta te prema vjerojatnosti istodobnog uključivanja svih potrošnih mjesta u zgradi. Proračunski je potrošak vode za određeni vod

$$Q = \sum I q, \tag{11}$$

gdje je *q* protok vode na pojedinom potrošnom mjestu (tabl. 7), a *I* faktor istodobnosti uključivanja potrošnih mjesta (tabl. 8). Brzina vode u kućnim vertikalnim i horizontalnim vodovima obično je 1,0...2,0 m/s, a u razdjelnim vodovima 1,0...2,5 m/s.

Tablica 7
POTROŠNA MJESTA KUĆNOG VODOVODA

Potrošno mjesto	Promjer cijevi mm	Protok vode L/s	Potrebna tlak na izljevu bar
Slavina	10	0,25	0,5
	15	0,40	
	20	1,0	
	25	1,5	
Umivaonik	10(15)	0,18	0,5...0,2
Kada	15	0,30	0,5...0,3
	20	0,60	
Tuš	15	0,18	0,5...0,2
Bide	15	0,125	0,5...0,3
Zahodski kotlić	10(15)	0,125	0,5
Zahodski ispirać	15	0,60	1,2
	20	0,83	1,2
	25	1,00	0,4
Sudoper	15	0,25	0,5...0,3
Stroj za pranje rublja	15	0,30	0,5
Stroj za pranje posuđa	15	0,30	0,5
Električni grijač vode, obujma 80 L, protočni, 2 kW	15	0,14	0,5
	15	0,18	
Plinski grijač vode, protok 10 L/min, protok 26 L/min	15	0,20	1,2
	15	0,45	
Hidrant, vrtni	15	0,30	1,0
	20	0,70	
	25	1,20	
Hidrant, požarni	50	2,5	2,0

Tablica 8
FAKTOR ISTODOBNOSTI UKLJUČIVANJA POTROŠNIH MJESTA

Potrošno mjesto	Broj potrošnih mjesta						
	1	2	5	10	20	30	40
Umivaonik	1	1	0,75	0,7	0,5	0,5	0,5
Kada	1	1	0,7	0,6	0,5	0,42	0,4
Tuš	1	1	1	1	1	1	1
Zahodski kotlić	1	1	0,75	0,65	0,52	0,50	0,5
Zahodski ispirać	1	0,85	0,65	0,45	0,27	0,26	0,25
Sudoper	1	0,25	0,65	0,5	0,35	0,33	0,3

Gubitak tlaka u kućnim vodovima računa se jednako kao i u cjevovodima vodoopskrbnog sustava (jednadžbe 6 i 7). Linijskim se gubitcima u kućnim vodovima dodaju i gubitci zbog otpora na promjenama pravca i promjera cijevi, te zbog ugradbe armature (zasuni, ventili, potrošna mjesta). Lokalni se gubitci računaju prema izrazu

$$h_1 = K \frac{v^2}{2g}, \tag{12}$$

gdje je *h₁* visina pada tlaka, *K* koeficijent otpora, *v* brzina vode u cjevovodu, a *g* ubrzanje sile teže. Vrijednosti su koeficijenta *K* za uobičajene otvore u kućnom vodovodu 0,5...3,0 po mjestu otpora. Kad su gubitci tlaka u kućnom vodovodu veći od tlaka u vodoopskrbnom sustavu, tlak se regulira hidroforima i sličnim uređajima, npr. spremnicima s gumenim membranama.

LIT.: G. M. Fair, J. C. Geyer, D. A. Okun, Elements of Water Supply and Waste-water Disposal. J. Wiley and Sons, New York 1971. – H. W. Gehr, J. I. Bregman, Handbook of Water Resources and Pollution Control. Van Nostrand Reinhold Co., New York 1976. – Water Treatment Handbook. Degremont, Rueil-Malmaison 1979. – A. C. Twort, F. M. Law, F. W. Crowley, Water Supply. Edward Arnold, Baltimore 1985. – H. S. Peavy, D. R. Rowe, G. Tchobanoglous, Environmental Engineering. McGraw-Hill, New York 1985. – E. W. Steel, T. J. McGhee, Water Supply and Sewerage. McGraw-Hill, Auckland 1988.